L'uomo del grano: l'eredità culturale di Nazareno Strampelli

Le Scienze

Maggio 2012 € 4,50

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

L'impronta dell'identità

Frammenti di DNA che si spostano nel genoma fanno sì che ogni cervello sia diverso da tutti gli altri

Rinnovabili

Come sfruttare vento e sole anche quando non ci sono

Medicina

Bloccare l'HIV con l'ingegneria genetica

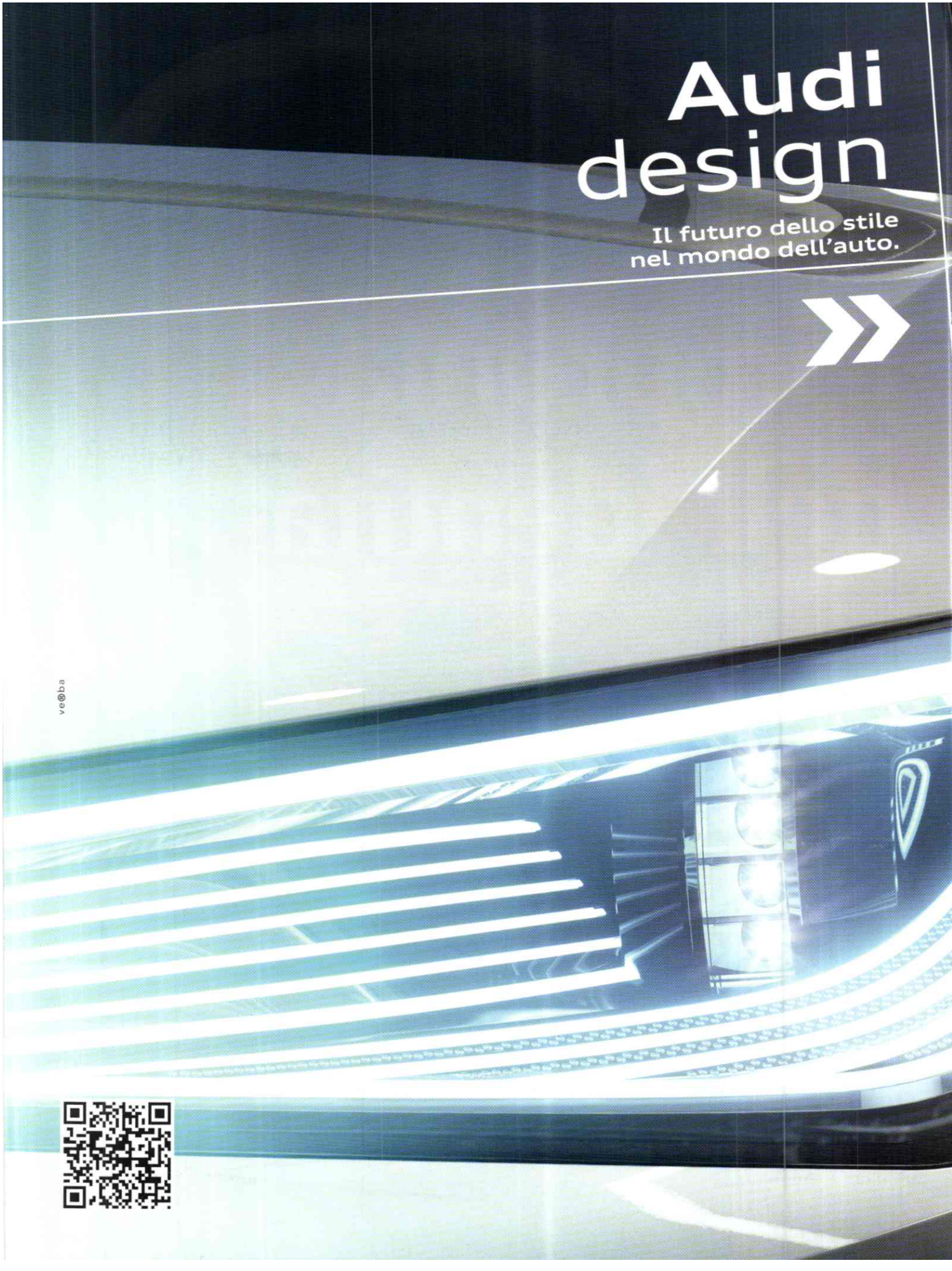
Astrofisica

Il destino delle stelle nel cosmo che verrà

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 525

20525

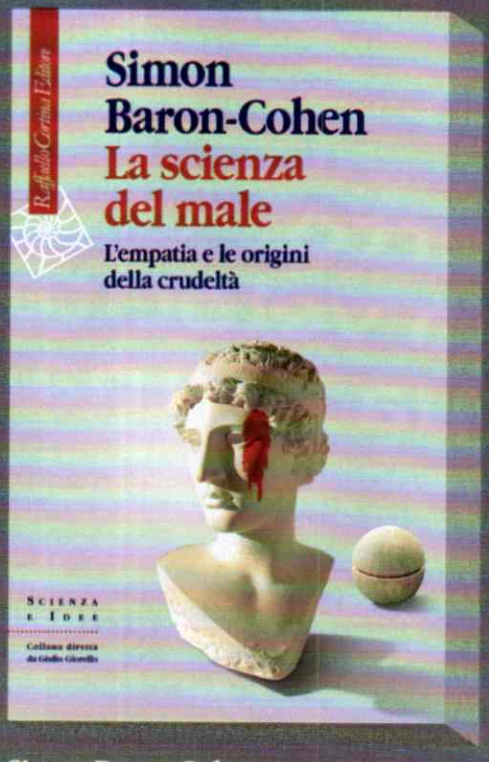
9 770036 808000


Audi
design
Il futuro dello stile
nel mondo dell'auto.

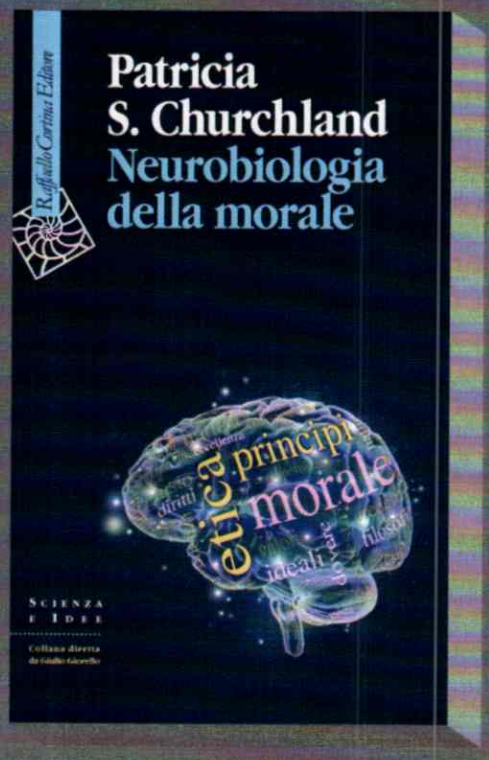
Audi
All'avanguardia della tecnica
Abbiamo scoperto cosa eguaglia la velocità della luce. La sua forma.
Più luminoso, più efficiente, inconfondibile: il light-design di Audi è votato al futuro.
www.audi.it/avanguardia_della_tecnica
Audi raccomanda Castrol EDGE Professional
Audi Credit finanzia la vostra Audi.

Novità

Raffaello Cortina Editore

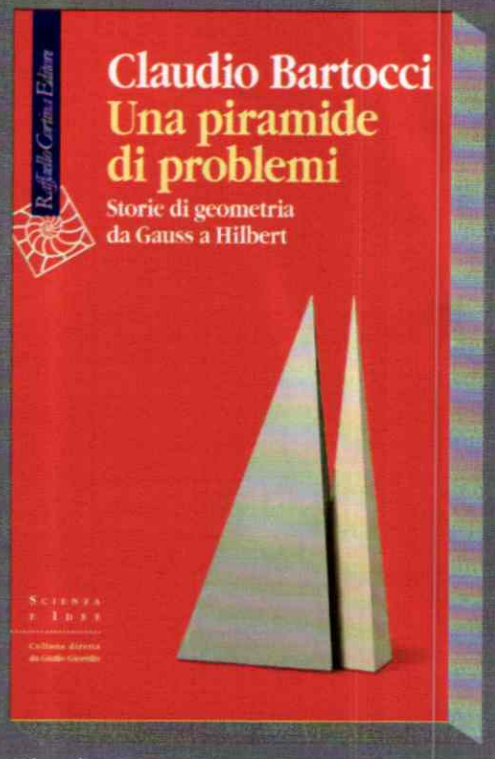


Simon Baron-Cohen
La scienza del male
L'empatia e le origini della crudeltà



Patricia S. Churchland
Neurobiologia della morale
Come il cervello impara a distinguere il bene dal male

Frank Close
Neutrino
Storia della particella più enigmatica del mondo



Claudio Bartocci
Una piramide di problemi
Storie di geometria da Gauss a Hilbert

www.raffaellocortina.it
Visitate il nostro sito: potrete iscrivervi alla nostra mailing list per essere sempre informati sulle novità della Casa editrice

IN COPERTINA

L'interazione tra geni e ambiente influenza il nostro comportamento, rendendoci unici. Ora però si è scoperto che l'unicità di ogni cervello è dovuta anche a frammenti di DNA che si spostano nel genoma. (Illustrazione: Jean-François Podevin)

Sommario

maggio 2012 numero 525

MEDICINA

36 Bloccare l'attacco dell'HIV

di Carl June e Bruce Levine

Una tecnica innovativa in fase di sperimentazione potrebbe impedire l'ingresso dell'HIV nelle cellule del sistema immunitario, tuttavia fino a oggi questo approccio si è dimostrato efficace solo in un paziente

ASTROFISICA

42 Il futuro remoto delle stelle

di Donald Goldsmith

I giorni migliori dell'universo sono passati, ma il futuro riserverà parecchie sorprese. Tra migliaia di miliardi di anni si verificheranno fenomeni celesti di tipo nuovo

NEUROSCIENZE

50 L'impronta dell'identità

di Fred H. Gage e Alysson R. Muotri

Tratti di DNA che si spostano nel nucleo cellulare contribuiscono ad assicurare che ogni cervello – proprio come le impronte digitali – sia diverso da tutti gli altri

ENERGIA

56 Imbrigliare il vento

di Davide Castelvecchi

Perché le energie rinnovabili possano avere veramente successo, bisognerà trovare il modo di sfruttarle anche quando il Sole o il vento non ci sono

CLIMA

62 A colpi di mazza da hockey

Intervista di David Biello

Michael E. Mann, autore del grafico più famoso della scienza del clima ferocemente criticato dai negazionisti, si è appassionato alla lotta ed è deciso a mantenere il ruolo di comunicatore di verità scomode

PALEONTOLOGIA

66 I dinosauri del continente perduto

di Scott D. Sampson

Un tempo l'Ovest americano ospitava numerose comunità di dinosauri: la scoperta sfida gli scienziati a capire in che modo la terra potesse sostentare tutti quei colossi

AGRICOLTURA

74 L'uomo del grano

di Antonio Pascale

Nei primi decenni del XX secolo, il genetista Nazareno Strampelli ottenne varietà di grano ad alta resa, anticipando la Rivoluzione verde che dopo la seconda guerra mondiale sfamerà buona parte del mondo

BIOTECNOLOGIE

80 La nuova generazione di antidepressivi

di Robin Marantz Henig

I farmaci contro la depressione impiegano anche settimane prima di produrre effetti, e in molte persone non sono efficaci. I ricercatori stanno cercando di superare questi limiti e ottenere alternative migliori

EVOLUZIONE

86 La vita nelle profondità sotterranee

di Aldemaro Romero

Nuove scoperte cambiano l'approccio classico allo studio degli organismi che abitano le cavità sotto la superficie terrestre

INFORMATION TECHNOLOGY

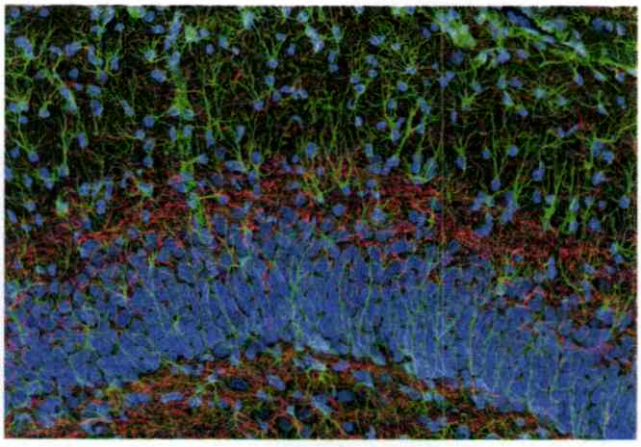
94 Una rete ombra per Internet

di Julian Dibbell

Governi e aziende hanno un controllo sempre maggiore su Internet. Ora gli attivisti della rete vogliono costruire una rete alternativa impossibile da bloccare, filtrare, o disattivare

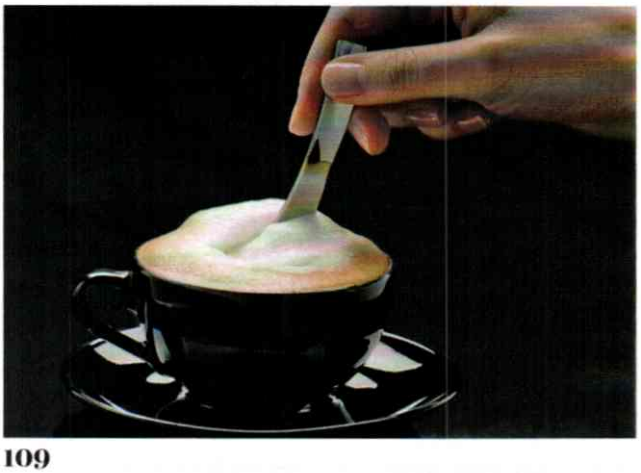
Ed Young/AgStock Images/Corbis

Sommario



14

18



109

Rubriche

9 Editoriale
di Marco Cattaneo

10 Anteprima

12 Lavori in corso

14 Intervista
Il regista del cervello *di Valentina Murelli*

16 Made in Italy
Gli investigatori delle piante *di Letizia Gabaglio*

18 Scienza e filosofia
A proposito di valutazione *di Elena Castellani*

19 Appunti di laboratorio
Un apprendimento astratto *di Edoardo Boncinelli*

20 Il matematico impertinente
Disorientamento totale *di Piergiorgio Odifreddi*

22 Astri & Particelle
Costruttori di universi *di Roberto Battiston*

24 Homo sapiens
Il santuario delle amigdale *di Giorgio Manzi*

101 Coordinate
L'era della spazzatura spaziale *di John Matson*

102 Rudi matematici
Cricket e crocchette
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

104 Libri & tempo libero

108 Povera scienza
Nuove regole per i rimedi omeopatici *di Paolo Attivissimo*

109 Pentole & provette
La schiuma del cappuccino *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

27 Un fenomeno per ammassi galattici
28 Miliardi di superTerre
28 Solemoti da emissioni di massa coronale
28 Comunicare con i neutrini
29 Interferenza quantistica in tempo reale
29 Metalli che conducono la luce
30 L'altra apoptosi dei batteri
30 Arruolare i linfociti contro la leucemia
31 Alle radici della calvizie
31 Strategie urbane contro le allergie
32 L'iperattività che deprime
32 Due recettori degli oppioidi in 3D
32 Neuroanalisi: nuova classificazione per la psichiatria
33 Perché andare su due piedi
33 Sequenziato il genoma del gorilla
34 Brevissime

Dr. Thomas Deerinck/Visuals Unlimited/Corbis (*cellule nervose ippocampo*); Ted Horowitz/Corbis (*piastra di Petri*); Beau Lark/Corbis (*cappuccino*)

Bridgestone Europe
Per conoscere i rivenditori autorizzati,
visitate il nostro sito
www.bridgestone.eu

BRIDGESTONE
Your Journey, Our Passion

EURO RSCG MILANO

www.peugeot.it

primo
full hybrid Diesel
al mondo

200 cv

elettrico

4x4

PEUGEOT RACCOMANDA TOTAL

Valori massimi: consumi ciclo combinato l/100 km 4,1; emissioni CO_2 g/km 108.

La prima vettura al mondo "Full Hybrid" Diesel. Un crossover che abbina un motore Diesel 2.0 16V HDi 163 CV FAP® ad uno elettrico da 37 CV. Quattro modalità di guida: AUTO, rapporto ottimale consumi e prestazioni; 100% ELETTRICO; 4X4; SPORT, che sfrutta a pieno la potenza dei due motori.

PEUGEOT 3008 HYbrid4

MOTION & EMOTION

PEUGEOT

di Marco Cattaneo

La porta dell'HIV

Finalmente una speranza per guarire l'infezione da AIDS

Sono trascorsi trent'anni precisi da quando è stato descritto il primo caso di AIDS in Italia. Si trattava – come hanno illustrato Bruno De Michelis, Remo Modica e Giorgio Re nel loro *Trattato di clinica odontostomatologica* – di un paziente omosessuale che si era recato molte volte negli Stati Uniti.

Sempre nel 1982, e precisamente il 27 luglio, a Washington, nel corso di un incontro tra i leader della comunità omosessuale e i rappresentanti del Governo e dei Centers for Disease Control and Prevention di Atlanta, fu proposto di usare l'espressione «sindrome da immunodeficienza acquisita», da cui AIDS, in luogo di GRID, acronimo di *Gay-Related Immune Deficiency*, perché era ormai accertato che l'AIDS non era «il flagello dei gay», come qualcuno lo definiva negli ambienti conservatori con un tono forse anche un po' compiaciuto. I CDC adottarono ufficialmente la nuova espressione il 24 settembre.

Tutto questo per ricordarci che trent'anni fa, il breve volgere di una generazione, dell'AIDS non sapevamo nulla, se non qualche nozioncina aneddotica intrisa di pregiudizi. Non sapevamo ancora che era causato dall'HIV. E ci sarebbero voluti altri cinque anni per avere un farmaco che ne rallentasse la progressione.

Oggi, invece, non se ne parla quasi più. L'AIDS è passato di moda, almeno in Italia. Basta pensare al vuoto quasi totale di campagne di prevenzione. Eppure secondo l'ultimo rapporto UNAIDS, del dicembre 2011, nel mondo ci sono circa 34 milioni di persone malate di AIDS, ogni anno se ne infettano 2,7 milioni (un dato fortunatamente in calo) e 1,8 milioni muoiono di patologie correlate.

Ma la ricerca non si è fermata. Vero è che non ci sono farmaci in grado di eliminare completamente il virus dall'organismo, e che il tentativo di sintetizzare un vaccino non ha portato a risultati apprezzabili. Però le terapie di oggi consentono ai pazienti che hanno accesso ai farmaci di rimanere in buona salute per decenni, tenendo sotto controllo l'infezione.

Il panorama però, potrebbe cambiare radicalmente, se si dovesse riuscire a mettere a punto una tecnica di ingegneria genetica sicura ed efficace basata sull'inattivazione di un unico gene, il gene *CCR5*, che produce una proteina di superficie delle cellule immunitarie che l'HIV sfrutta per penetrarvi. E il merito sarebbe tutto di un fortunato trapianto di midollo osseo eseguito ormai

cinque anni fa in Germania su un paziente malato di leucemia, che da dieci anni era anche sieropositivo. Una volta ricevuto il midollo, la fonte delle cellule immunitarie, da un donatore anonimo il cui DNA reca una mutazione che lo rende resistente all'HIV, il «paziente di Berlino» non ha più mostrato traccia di presenza del virus, nonostante abbia sospeso ormai da anni la terapia a base di farmaci antiretrovirali.

A raccontarci di questa potenziale rivoluzione nel trattamento dell'AIDS sono Carl June e Bruce Levine, dell'Università della Pennsylvania, che stanno collaborando a un trial clinico molto promettente. È presto per cantare vittoria, ma la stagione dell'HIV potrebbe davvero essere al tramonto.

Jerry Archer/Corbis

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
docente di fisica sperimentale, Università di Perugia

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
docente di filosofia della scienza, Università di Milano-Bicocca

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

La rivoluzione di Heisenberg

A richiesta con «Le Scienze» di giugno *Incertezza*, di David Lindley

Il 31 maggio 1927 la rivista scientifica tedesca «Zeitschrift für Physik» pubblica un articolo destinato a sconvolgere il mondo della scienza, e non solo, dal titolo: *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*, traducibile in italiano come *Sul contenuto visualizzabile della cinematica e della meccanica teoriche quantistiche*. L'autore, un fisico venticinquenne che già godeva di fama internazionale, in poco più di venti pagine elabora un ragionamento semplice, sottile e sorprendente, tratteggiando una delle più sconcertanti rivoluzioni del sapere umano: il principio di indeterminazione. Il giovane Werner Heisenberg è cosciente della portata «sovversiva» del suo scritto, in base al quale è impossibile conoscere contemporaneamente e con precisione massima velocità e posizione di un dato oggetto in movimento: quanto più precisamente si determina la posizione, afferma il principio, tanto meno si può conoscerne la velocità.

Un risultato che manda in frantumi la visione classica ottocentesca della scienza, secondo cui era scontato poter definire con precisione massima illimitata ogni parametro che descrive un fenomeno naturale.

Per celebrare gli 85 anni del principio di indeterminazione, allegato al numero di giugno di «Le Scienze» pubblichiamo *Incertezza*, di David Lindley, un libro che ripercorre in senso cronologico la genesi della rivoluzione intellettuale e scientifica di Heisenberg, e il successivo dibattito, che ha assunto toni anche feroci, innescato nella comunità dei fisici dalla pubblicazione del suo principio. In effetti, uno dei più restii ad accettare la novità di Heisenberg era stato proprio il grande mentore dell'epoca: il quasi cinquantenne Albert Einstein, il quale una ventina d'anni prima era stato protagonista di un'altra rivoluzione, con la sua teoria della relatività. Il principio elaborato dal giovane fisico tedesco forniva una solida base alla nascente meccanica quantistica, sgradita a Einstein.

Gioventù (in)determinata. Heisenberg nel 1927, anno in cui pubblicò il suo studio sul principio di indeterminazione.

Segre Collection/American Institute Of Physics/SPL/Contrasto

Come spiega Lindley, astrofisico di formazione e già *editor* di «Nature», «Science» e «Science News»: «Nel mondo di Heisenberg, per quanto poteva capire Einstein, l'idea stessa di un fatto vero pareva sgretolarsi dando luogo a un assortimento di punti di vista inconciliabili. E questo, disse Einstein, era inaccettabile, se la scienza doveva avere un qualche significato attendibile». A quella che in seguito diventa una battaglia per lo spirito della scienza partecipa anche il fisico danese Niels Bohr, mentore prima e avversario scientifico poi proprio di Heisenberg.

Alla fine, sebbene riluttante, il padre della teoria della relatività riconosce la validità del principio elaborato dal suo giovane collega, al quale nel frattempo Bohr aveva dato una mano. Ma, ricorda Lindley, Einstein «non accettò mai che si trattasse dell'ultima parola». L'incertezza era un segno di un'incapacità umana, argomentava Einstein, non «un'indicazione di qualcosa strano e di inaccessibile riguardante il mondo stesso». Forse però c'era anche altro.

Le rivoluzioni, come sapeva Einstein, vedono spesso protagonisti i figli a spese dei padri, senza pietà alcuna. Quel giorno di maggio del 1927 era diventato lui il padre ingombrante. Un padre forse con qualche idea sbagliata, che un giovane determinato e probabilmente anche un po' incosciente stava per travolgere. Un ruolo difficile da accettare per chiunque, anche per gli ex rivoluzionari.

RISERVATO AGLI ABBONATI

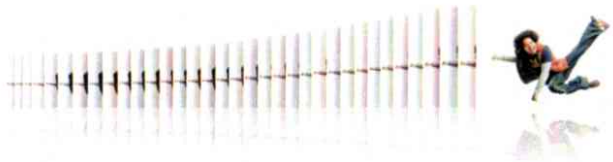
Gli abbonati possono richiedere, al prezzo di € 7,90, i volumi della **Biblioteca delle scienze**

telefonando al Servizio clienti: 199 78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari),

il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa).

4 ANNI GARANZIA | nital.it

1 SECONDO, SECONDO **NIKON 1**



I AM | THE TOP SPEED CAMERA

Sono il sistema fotografico ad ottiche intercambiabili più rivoluzionario al mondo, l'unico capace di spaccare il secondo in 60 fotogrammi per catturare ogni istante di ogni momento. Sono Nikon 1, la prima fotocamera digitale con tecnologia di acquisizione pre e post-capture. Con il sistema autofocus e lo scatto continuo tra i più rapidi al mondo riesco fare cose che le altre fotocamere possono solo immaginare. Per esempio con la funzione **Motion Snapshot** realizzo contemporaneamente un filmato in slowmotion ed un'immagine, combinandoli per generare una sorprendente fotografia dinamica. Con l'esclusivo **Smart Photo Selector**, registro 20 immagini in sequenza e poi scelgo la migliore; se poi lo scatto non soddisfa, suggerisco altre quattro foto tra cui scegliere: così sarà davvero impossibile non scattare correttamente. E addirittura, con la **Funzione Movie**, posso realizzare filmati in Full HD e scattare foto senza interrompere la registrazione! Sono pratica, versatile e rivoluzionaria. **Sono il nuovo mondo della fotografia dinamica**. Scoprimi su **nikon1.it**

At the heart of the image

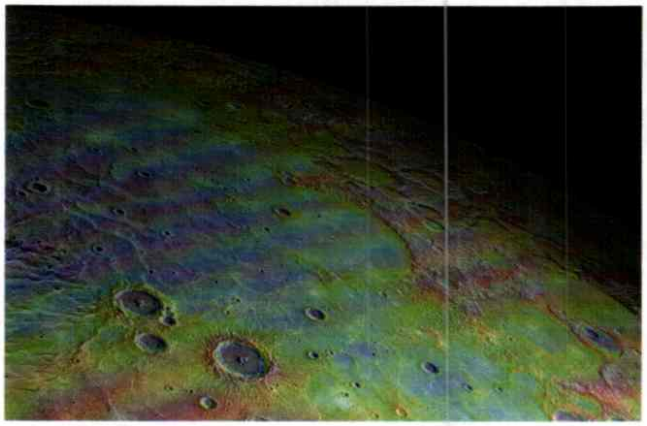
a cura di Giovanni Spataro

Mercurio senza veli

Ritratto con sorpresa del pianeta più interno del sistema solare, grazie a MESSENGER

La sonda MESSENGER della NASA ha completato la sua missione principale della durata di un anno in orbita attorno a Mercurio (si veda *Destinazione Mercurio*, in «Le Scienze» n. 513, maggio 2011), inviando dati e 100.000 immagini, pubblicati su «Science Express».

Il pianeta ha un nucleo di dimensioni più grandi del previsto: il suo raggio copre l'85 per cento del raggio planetario (quello del nucleo terrestre è la metà del raggio della Terra). Anche la composizione del nucleo è più complessa rispetto a quello terrestre: la parte solida più esterna e la parte interna più liquida hanno più ferro rispetto alla composizione media di Mercurio, una disomogeneità che influenzerebbe la genesi del campo magnetico. La superficie sembra quasi priva di ferro e ha grandi quantità di zolfo distribuite in modo non uniforme: la sua formazione quindi sarebbe meno ordinata rispetto alle previsioni dei modelli elaborati in passato.



Maternità solare

Figlio unico? Gli astronomi non sono ancora riusciti a scoprire le sorelle del Sole, stelle che si sono formate nel suo stesso ammasso.

La maggior parte delle stelle è nata in ammassi stellari, e in base a numerosi dati la nostra stella non farebbe eccezione. Ma allora dove sono finite le sorelle del Sole? (Si veda *Le sorelle perdute del Sole*, in «Le Scienze» n. 497, gennaio 2010). Da tempo gli astronomi cercano di rispondere, andando alla ricerca delle compagne di nascita della nostra stella nella Via Lattea. Una delle ultime informazioni, che in realtà scagiona un indiziato, arriva da Barbara Pichardo, dell'Universidad Nacional Autonoma de Mexico di Città del Messico, con uno studio su «The Astronomical Journal». Grazie a una simulazione, la ricercatrice ha testato l'ipotesi secondo la quale il Sole è nato in M67, un ammasso distante 3000 anni luce, quindi relativamente vicino, le cui stelle hanno circa la stessa età e composizione chimica della nostra stella. Pichardo ha spostato indietro di miliardi di anni l'orologio galattico, al tempo in cui il Sole e M67 sarebbero stati insieme e poi ha simulato l'espulsione della stella dall'ammasso, seguendo le relative traiettorie fino alle posizioni attuali. Scoprendo così che la velocità di espulsione doveva essere elevata, troppo per consentire la formazione del sistema solare.

Quindi M67 non è stato la culla del Sole, anche se scoperte recenti sull'evoluzione delle galassie a spirale, come la nostra, potrebbero rimetterlo in gioco.

Venezia va giù

Studi degli anni passati avevano indicato che il processo di subsidenza della laguna di Venezia si era stabilizzato, dando un sospiro di sollievo a veneziani e non solo. Ora però una ricerca pubblicata su «Geochemistry, Geophysics, Geosystems» sostiene che il tempo del sollievo è finito, dimostrando che in realtà Venezia e la sua laguna stanno sprofondando e si stanno spostando verso est.

Acqua alta. Il fenomeno dell'acqua alta è amplificato dalla subsidenza ancora attiva nella laguna di Venezia.

Yehuda Bock, dell'Università della California a San Diego, ha combinato i dati GPS registrati da cinque stazioni nella città e nella laguna tra il 2001 e il 2011 con dati ottenuti da satellite tra il 2003 e il 2007. Il verdetto è stato chiaro: Venezia sprofonda a una velocità di 1-2 millimetri all'anno, la stessa con cui si sposta verso est. Fuori dal centro della città, la situazione addirittura peggiora. Bock ha trovato che la parte settentrionale della laguna sprofonda a una velocità di 2-3 millimetri all'anno e quella meridionale a 3-4 millimetri. Il fenomeno, dovuto a cause naturali, amplifica gli effetti dell'acqua alta, rendendo sempre più necessaria una soluzione con cui tutelare questo patrimonio dell'umanità (si veda *Salvare Venezia*, in «Le Scienze» n. 409, settembre 2002).

Impulso record

Per progetti ambiziosi ci vogliono grandi prestazioni. Così i ricercatori della National Ignition Facility al Lawrence Livermore National Laboratory hanno spinto oltre i limiti previsti dai progettisti la macchina con cui vogliono riprodurre la fusione nucleare, in modo da capire come sfruttare questa reazione per generare elettricità (si veda *La falsa partenza della fusione*, in «Le Scienze» n. 501, maggio 2010). Gli scienziati hanno prodotto un impulso laser da 1,875 megajoule, superando gli 1,8 megajoule dichiarati nel progetto. In termini energetici non è un valore enorme (1,8 megajoule sono liberati dall'esplosione di 0,5 chilogrammi di esplosivo ad alto potenziale), tuttavia gli 1,875 megajoule sono stati liberati in 23 miliardesimi di secondo, per una potenza di 411.000 miliardi di watt. L'impulso non era diretto verso alcun bersaglio, come invece accadrà in futuro.

Cortesia NASA/JHUAPL/CIW-DTM/GSFC/MIT/Brown University/James Dickson e Jim Head (*Mercurio*); cortesia NASA/European Space Agency (*Sole*) Atlantide Phototravel/Corbis (*Venezia*)

Una brillante analisi delle ragioni evolutive, neurologiche e persino filosofiche dell'ottimismo.

Tali Sharot

Ottimisti di natura

Perché vediamo il bicchiere mezzo pieno

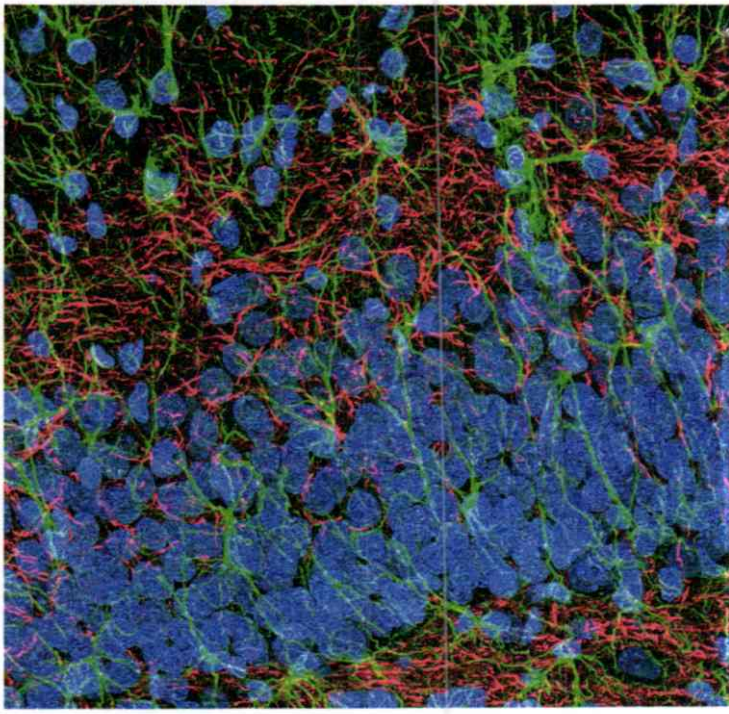
URRA

di Valentina Murelli

Il regista del cervello

Maurizio De Pittà, giovane ricercatore italiano a Tel Aviv, ha elaborato il primo modello che descrive il ruolo cruciale degli astrociti nell'attività cerebrale

Il cervello funziona come una produzione teatrale: in scena ci sono gli attori (i neuroni), ma lo spettacolo (l'attività cerebrale) non potrebbe esistere senza il resto della «macchina», dal regista ai tecnici (le cellule gliali, altra componente fondamentale del sistema nervoso). La metafora è di Philip Haydon, neurobiologo alla Tufts University, e rende bene il senso di quella che, negli ultimi 15 anni, è stata una rivoluzione nel modo di considerare la glia: non più semplice supporto, ma elemento attivo nel controllare la comunicazione tra neuroni. Una rivoluzione resa possibile sia da risultati sperimentali sia da modelli matematici, come quelli di cui si occupa Maurizio De Pittà, ingegnere elettronico di formazione e ora dottorando in neuroscienze all'Università di Tel Aviv. De Pittà ha contribuito a mettere a punto il primo modello che descrive l'influenza degli astrociti, un tipo di cellule gliali, sulle sinapsi. Suggerendo che siano proprio gli astrociti a coordinare l'attività del cervello.



Cortesia De Pittà (*De Pittà*, Dr. Thomas Deerinck/Visuals Unlimited/Corbis (*cellule nervose ippocampo*)

Ci tolga prima una curiosità: come è arrivato dall'ingegneria elettronica alla glia?

Ho cominciato a occuparmene nel 2006, durante la tesi: all'Università di Pisa si stava lavorando a un progetto di robot umanoide innovativo, il cui cervello, fatto di chip elettronici, funzionasse nel modo più simile possibile a un cervello vero. Poiché erano stati pubblicati i primi dati che suggerivano un coinvolgimento delle cellule gliali nella comunicazione tra neuroni, era chiaro che i chip basati su reti neurali classiche non bastavano più: ne servivano di nuovi, che mettessero insieme neuroni e glia. E per farlo occorrevano prima di tutto modelli matematici capaci di descrivere le interazioni tra questi due tipi cellulari: io ero appassionato di neuroscienze, così chiesi di lavorare allo sviluppo di questi modelli.

Il suo modello matematico descrive l'influenza degli astrociti sulle sinapsi. Ci ricorda che cosa sono?

Sono i punti di collegamento tra i neuroni, quelli in cui avviene il passaggio di informazioni da un neurone all'altro attraverso lo scambio di molecole di segnalazione, i neurotrasmettitori. La dinamica delle sinapsi è il cuore di tutta l'attività nervosa, ed è alla base dei fenomeni di plasticità cerebrale, che permettono al cervello di apprendere e ricordare. Questo perché le connessioni sinaptiche sono a loro volta plastiche: a seconda degli stimoli ricevuti possono cambiare sia il tipo di informazioni che trasmettono sia l'intensità con cui le trasmettono. Io mi occupo in particolare di fenomeni di plasticità sinaptica a breve termine, che si verificano su piccoli intervalli temporali (qualche secondo o meno).

Che cosa c'entrano gli astrociti?

Fino a pochi anni fa si pensava che il funzionamento delle sinapsi dipendesse esclusivamente dall'attività dei neuroni. L'idea

CHI È

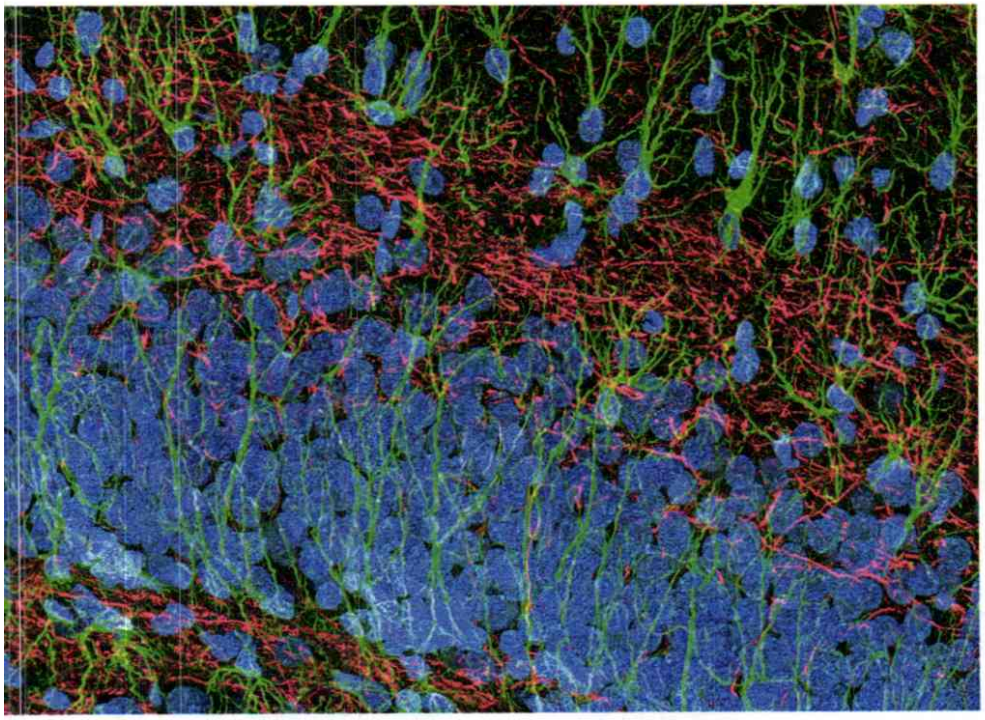
Maurizio De Pittà, nato nel 1979, originario di Mestre, si è laureato nel 2007 in ingegneria elettronica (classe bioingegneria) all'Università di Pisa, con Danilo De Rossi.

L'interesse per le neuroscienze lo ha portato a chiedere una tesi sullo sviluppo di modelli biofisici realistici e innovativi di reti neurali, svolta in parte all'Università di Tel Aviv, nel laboratorio di fisica dei sistemi complessi di Eshel Ben-Jacob.

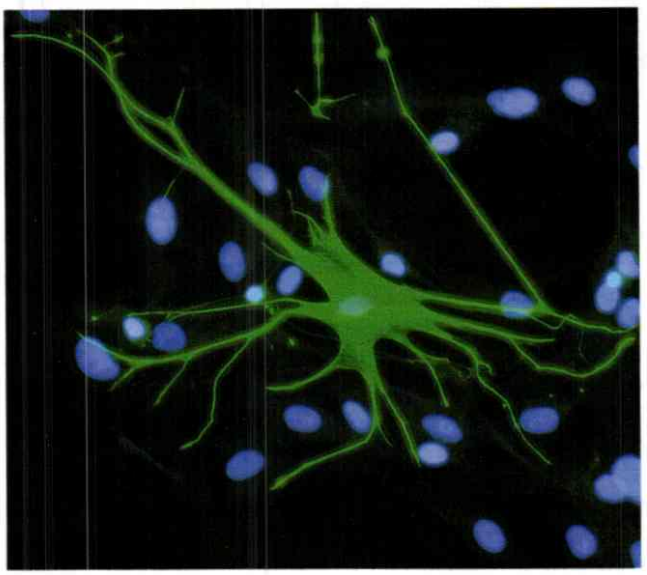
Nello stesso laboratorio sta svolgendo dal 2008 un dottorato in cui si occupa di *modelling* del coinvolgimento delle cellule gliali nel funzionamento delle sinapsi.

Nel 2009 ha trascorso un soggiorno di studio negli Stati Uniti, approfondendo le neuroscienze computazionali ai Marine Biological Labs di Woods Hole, in Massachusetts, e al centro di biofisica teorica dell'Università della California a San Diego. Ha pubblicato diversi studi sulla modellizzazione dell'attività degli astrociti, tenendo seminari sul tema sia in Italia sia all'estero.

era che, sulla base delle informazioni, cioè dei neurotrasmettitori, ricevute dal neurone posto «a monte» (indicato come «presinaptico»), la sinapsi influenzasse, eccitandola oppure inibendola, l'attività del neurone «a valle» (postsinaptico). Oggi invece sappiamo che in questo meccanismo sono coinvolti anche gli astrociti, cellule gliali molto diffuse nel sistema nervoso centrale, in particolare nella corteccia cerebrale e nell'ippocampo, regione fondamentale per la memoria. Gli astrociti avvolgono le sinapsi e ne modulano il funzionamento, sempre attraverso il rilascio di molecole di segnalazione.



Strutturali e funzionali. Cellule nervose di ippocampo al microscopio confocale. Sotto un astrocita, cellula che oltre ad avere un ruolo di supporto è coinvolta nella trasmissione dei segnali tra neuroni.



Riccardo Cassiani-Ingoni/SPL/Contrasto (*astrocita*)

Ci può dare qualche dettaglio in più?

Il meccanismo è complesso, ma si può provare a schematizzarlo. Quando un neurone presinaptico rilascia neurotrasmettitori, questi non influenzano solo il neurone postsinaptico, ma anche gli astrociti circostanti. L'informazione ricevuta «eccita» l'astrocita: non secondo la modalità elettrica tipica dei neuroni, ma stimolando una variazione della concentrazione di ioni calcio all'interno della cellula. Questa variazione stimola a sua volta il rilascio di altre molecole (si parla di gliotrasmettitori) da parte dell'astrocita, che così si mette in comunicazione con la sinapsi. Vorrei ricordare che buona parte delle conoscenze su questi meccanismi vengono da studi di gruppi di impronta italiana, come quelli di Andrea Volterra e Paola Bezzi all'Università di Losanna, di Giorgio Carmignoto dell'Università di Padova e di Tommaso Fellin dell'Istituto italiano di tecnologia a Genova.

Perché è importante descrivere questi meccanismi in forma matematica?

Le equazioni differenziali che compongono il modello hanno dato una cornice teorica alle osservazioni sperimentali. Il fatto è che i dati raccolti fino a un certo punto apparivano contraddittori: non si capiva se gli astrociti eccitassero o inibissero le sinapsi, cioè se potenziassero oppure deprimessero la loro capacità di trasmettere segnali. Ebbene, le nostre equazioni suggeriscono che gli astrociti possano fare entrambe le cose e, di conseguenza, che probabilmente modulino tutta la trasmissione di segnali a livello sinaptico. Dunque sarebbe la glia a stabilire in ogni momento quali sinapsi (e cioè quali percorsi neuronali) si devono spegnere oppure attivare, con quale intensità e così via, supervisionando i meccanismi che ci permettono di apprendere o di ricordare.

Il modello si è subito rivelato efficace: sono stati pubblicati due studi sperimentali che ne confermavano le previsioni. A che cosa serviranno in futuro queste equazioni?

A varie cose: per esempio a sviluppare quei chip di cui parlavamo all'inizio, basati su reti neuron-gliali più realistiche. E poi a fare previsioni su particolari processi, indirizzando in modo più specifico gli esperimenti da condurre in laboratorio. Parlo di processi sia fisiologici sia patologici, visto che alterazioni della glia e della sua capacità di comunicare con i neuroni sono coinvolte in numerose patologie del sistema nervoso, dall'epilessia ad alcuni tumori, dalla malattia di Alzheimer alla sclerosi laterale amiotrofica.

Per chiudere: com'è fare ricerca in Israele?

Difficile, ma stimolante: l'ambiente è competitivo ed esigente, e anche gli studenti più giovani sono estremamente motivati. La parola d'ordine è: si può sempre fare meglio. L'aspetto positivo, però, è che si è messi nelle condizioni per poterlo fare davvero: i fondi non mancano, e l'atteggiamento generale è di accoglienza per le idee di tutti, anche dell'ultimo arrivato in laboratorio.

di Letizia Gabaglio

Gli investigatori delle piante

IpadLab, con sede a Lodi, è la prima azienda biotecnologica italiana specializzata in servizi e prodotti per la fitodiagnostica molecolare su scala globale

I *serial* televisivi ce l'hanno insegnato: basta una goccia di sangue, un capello, una piccolissima traccia biologica per risolvere un mistero o un delitto. Gli investigatori non solo individuano il colpevole ma ne fanno un identikit completo, riuscendo a volte a scoprire anche che cosa mangia, quali sono le sue abitudini, se ha qualche malattia.

Potenza della biologia molecolare e dei suoi strumenti di analisi sempre più precisi e affidabili. Una rivoluzione che ha coinvolto molti altri campi, basti pensare ai test diagnostici usati in medicina, ma che fino a qualche anno fa, in Italia, non aveva interessato l'agronomia. Fino a quando, cioè, il mondo imprenditoriale nel settore dei servizi all'agricoltura e quello della ricerca fitosanitaria in ambito universitario si sono incontrati ed è nata IpadLab, la prima azienda biotecnologica italiana specializzata in servizi e prodotti per la fitodiagnostica molecolare.

Piccoli campioni per saggi veloci

Era il 2008, e fino a quel momento i produttori che volevano essere sicuri della salute delle loro piante dovevano affidarsi alla tecnologia ELISA, un test a base di anticorpi che si legano ai patogeni, indicandone la presenza. Un metodo che negli anni aveva mostrato tutti i suoi limiti: «Gli anticorpi devono essere prodotti in animali e poi estratti dal loro sangue, ma con alcuni patogeni vegetali questo sistema non funziona», spiega Camilo Gianinazzi, amministratore delegato dell'azienda. «Inoltre, per poter essere individuato il microrganismo infestante deve essere presente in grandi quantità».

Insomma, il sistema non era affidabile e i produttori lo sapevano. Prima di comprare le piante controllavano il certificato, certo, ma poi le mettevano a dimora per 3-4 anni e le osservavano, per essere sicuri che non fossero malate. «Ma alcune malattie esordiscono anche dopo, quando per l'agricoltore può essere troppo tardi e i danni possono diventare ingenti», sottolinea l'imprenditore. Ecco quindi l'idea di business: realizzare saggi molecolari veloci e poco costosi, capaci di individuare una malattia a partire da un campione piccolissimo. Una necessità molto sentita dai produttori, soprattutto perché le produzioni vegetali non sono più limitate a regioni con confini ben precisi. Ingenti volumi di materiale vegetale viaggiano e sono trasportati da una parte all'altra del globo aumentando il rischio di diffondere i patogeni. Tanto che ogni anno il 15 per cento delle derrate alimentari va distrutto a causa delle patologie delle piante coltivate. Ecco perché l'idea di Gianinazzi ha convinto il fondo di investimenti TTVenture, diventato socio dell'azienda, e poi l'Università di Milano, di cui IpadLab è *spin off*, e il Parco tecnologico padano di Lodi, incubatore biotecnologico specializzato nel settore agroalimentare che ospita l'azienda.

Il primo grande cliente di IpadLab è Zonin, grande produttore di vini che fin dall'inizio riconosce tutte le potenzialità della diagnostica molecolare. «La vite è stata la prima coltura a cui ci siamo dedicati perché è particolarmente delicata e soggetta a malattie non identificabili con i test ELISA, i giallumi, causate da microrganismi procarioti individuabili solo con metodi biomolecolari», spiega Gianinazzi. Dopo la vite è la volta del kiwi, colpito dal cancro batterico dovuto a *Pseudomonas syringae pv. actinidiae* (PSA), una malattia che spesso causa la morte della pianta. Rischiano di marcire irrimediabilmente, invece, i meloni e le angurie colpiti da *Monosporascus cannonballus*, un fungo che vive nel terreno e infetta le radici. Per tutti questi patogeni, e per altri ancora, IpadLab ha realizzato kit *all inclusive* per l'analisi in laboratorio, che vende anche ai laboratori concorrenti.

LA SCHEDA

IpadLab

Fatturato
0,11 milioni di euro

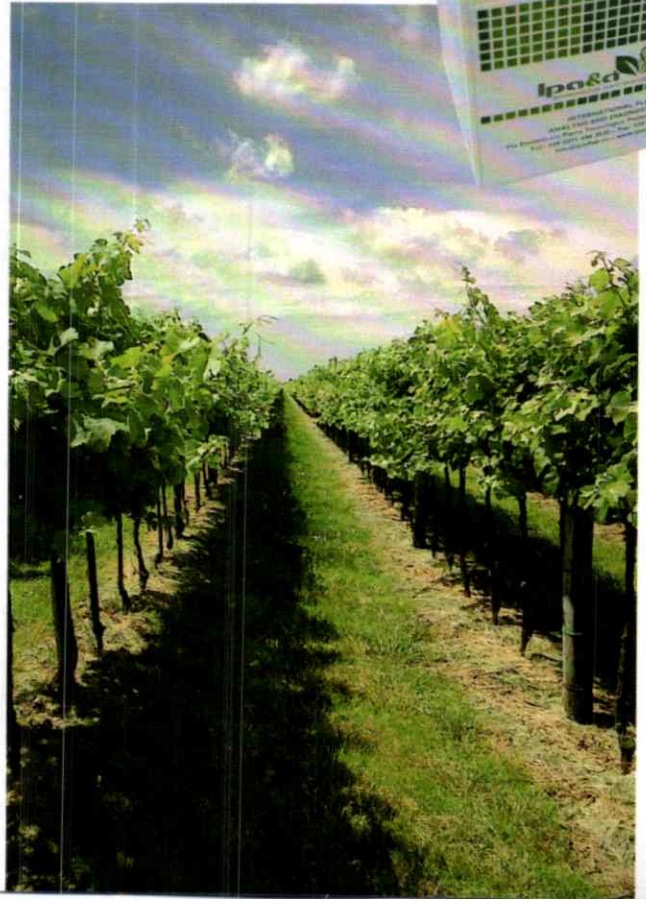
Dipendenti/collaboratori
6 di cui impiegati in R&S: 4

Investimenti in ricerca
0,18 milioni di euro

Brevetti rilasciati
2

Cortesia IpadLab (*tutte le foto*)

Dalla vite alle arance. Nella pagina a fronte, un albero di arance analizzato con i prodotti di IpadLab e campionamento della vite che sarà poi esaminata con i test dell'azienda di Lodi. Qui accanto, esempi di provette che i produttori possono spedire ai laboratori di IpadLab (*in alto*).



Ma i coltivatori possono scegliere anche di spedire i loro campioni al laboratorio di IpadLab, accreditato dalla Regione Lombardia per la verifica dei protocolli di qualità di frutta e verdura e unico in Italia a essere in corso di certificazione ISO 17025 per la vite. Basta spedire il materiale e nel giro di tre giorni arriva il risultato. Proprio il viaggio che il campione vegetale deve affrontare dal campo alla sede di Lodi si era trasformato in una limitazione alla commercializzazione estera dei servizi IpadLab: i vegetali, infatti, non possono attraversare i confini tra gli Stati se non opportunamente certificati. Ma in questo caso era proprio il bisogno di certificare il motivo del viaggio. Come fare, quindi?

Produttore protagonista

I ricercatori di Lodi non si sono scoraggiati e hanno realizzato il modello/sistema PLUS (*pre-lab unit system*): «In questo caso il coltivatore non solo prende il campione, ma esegue anche l'estrazione del *target*, lo mette su un supporto fornito da noi e lo fa viaggiare in una provetta a temperatura ambiente. L'estratto immobilizzato sul supporto non è soggetto alle limitazioni che valgono invece per il materiale vegetale», va avanti l'amministratore delegato. Un'operazione semplice e poco costosa, addirittura 3-5 volte meno dei test concorrenti, «che rende i produttori protagonisti della tutela della qualità e della salute delle loro coltivazioni».

Efficacia ed efficienza hanno permesso a IpadLab di allargare il proprio mercato – in Italia lavora già in Piemonte, Veneto, Puglia e Sicilia – a Giappone, Georgia, Tunisia e presto anche ai paesi del Sud America. Ed è solo l'inizio. «Entro pochi anni in Europa il livello di impiego di fitofarmaci dovrà scendere almeno del 50 per cento, come stabilito dalla Commissione Europea. I coltivatori avranno così sempre meno molecole per combattere le malattie delle loro piante e dovranno contare soprattutto sulla sicurezza del materiale vegetale iniziale», sottolinea Gianinazzi. Per farlo dovranno chiedere a qualcuno di indagare, e IpadLab potrà fornire la risposta grazie a strumenti scientifici d'avanguardia, proprio come un investigatore sulla scena del crimine.

di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

A proposito di valutazione

Che cosa significa valutare una teoria, un'ipotesi scientifica, il risultato di una ricerca?

La parola del momento, per la comunità scientifica, è «valutazione». È economicamente imperativo che tutto debba essere valutato: gli attori delle ricerche sono giudicati attraverso i loro «prodotti», valutati innanzitutto in base ad aspetti quantitativi come, per esempio, il numero di citazioni ricevute. Si pensa che il processo possa essere svolto in modo oggettivo e che permetta, alla fine, una giusta distribuzione delle scarse risorse. Le parole non sono usate a caso, e il fatto che si applichi un linguaggio aziendalistico per valutare il mondo della ricerca è rivelatore dello spirito del tempo. Se si considerano teorie e risultati della scienza come prodotti, da remunerare in base al loro «valore», è facile che avvenga uno slittamento in direzione prevalentemente economica nell'affrontare la delicata questione della valutazione dei risultati scientifici.

Che cosa significa valutare una teoria o un'ipotesi scientifica? E valutare il risultato di una ricerca? Le due questioni sono diverse, anche se collegate, visto che una ricerca o un esperimento vengono svolti all'interno di un certo quadro teorico, per corroborarlo, metterlo alla prova o estenderlo. Poniamo che il risultato dell'esperimento – il fatto scientifico da valutare – sia in accordo con quanto predice la teoria di riferimento: la valutazione di questo fatto sarà allora positiva, se si ritiene che la metodologia seguita sia corretta. Ma stabilire quale sia la metodologia corretta non è così ovvio. La questione del metodo scientifico (induzione, falsificabilità, metodi statistici...) è aperta, e gli studi storici e filosofici sulla scienza ne hanno da tempo messo in evidenza le difficoltà.

Sicuramente ha un ruolo determinante, in proposito, l'accordo della comunità scientifica sui criteri metodologici da condividere. Ma se la valutazione di un singolo risultato può seguire criteri condivisi, la questione è più complessa riguardo alla valutazione del quadro teorico in cui il risultato si inserisce. In questo caso, un criterio che sembrerebbe rilevante è quello della verità di una teoria o ipotesi; ma questo non è necessariamente condiviso. Se, per esempio, si attribuisce alla scienza uno scopo puramente strumentale, la valutazione di una teoria non dipenderà dalla sua verità; anzi, la questione della verità non si porrà proprio. Di fatto, solo se si è «realisti scientifici» siamo portati a connettere strettamente la valutazione di una teoria alla verità delle sue asserzioni.

In ogni caso, se non si sposano posizioni estreme come quelle che considerano qualsiasi giudizio sulla scienza come interamente dipendente da fattori socio-politici o economici, è senza dubbio ragionevole attribuire un alto grado di oggettività alle conquiste scientifiche. Anche in questo caso l'accordo e il condiviso controllo della comunità scientifica sono rilevanti per stabilire in che cosa consista il valore oggettivo dei fatti e delle teorie da giudicare: «L'oggettività delle asserzioni della scienza risiede nel fatto che esse possono essere controllate intersoggettivamente», diceva già Popper nella *Logica della scoperta scientifica* del 1934.

Ma rimane un problema: chi controlla le comunità scientifiche che stabiliscono i criteri metodologici e valutativi? La questione ha implicazioni non banali, se si pensa agli esiti che possono avere le valutazioni. Per noi è particolarmente attuale: è in atto un processo molto impegnativo e costoso di valutazione del mondo della ricerca e dell'università per gli anni 2004-2010 da parte di un organismo appositamente costituito, l'Agenzia nazionale di valutazione del sistema universitario e della ricerca (ANVUR), i cui esiti avranno implicazioni pesanti per il futuro della ricerca e dell'istruzione superiore nel paese. (Si consiglia di guardare le pagine del sito Return on Academic Research per un'approfondita discussione sulle modalità e criteri adottati in questo processo di valutazione).

Chi controlla il controllore? Un problema della valutazione in ambito scientifico è il controllo degli organi chiamati a determinare le modalità di valutazione.

Ted Horowitz/Corbis

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Un apprendimento astratto

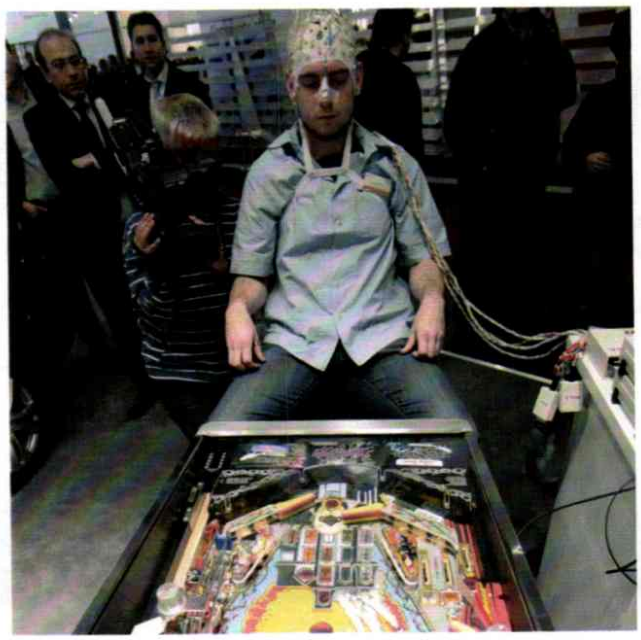
Passo in avanti cruciale negli studi legati allo sviluppo di interfacce cervello-macchina

Durante i primi anni della nostra vita impariamo a eseguire correttamente un gran numero di movimenti, ma anche negli anni successivi siamo sempre in grado di farlo con maggiore o minore prontezza. Quali sono i meccanismi di questa particolare forma di apprendimento? Per ora sappiamo solo con certezza che le aree cerebrali implicate sono la corteccia cerebrale, in particolare quella motoria primaria, che controlla direttamente i movimenti muscolari, e lo striato, la componente più cospicua dei cosiddetti gangli della base, la gran massa di centri e circuiti nervosi che si trovano sotto la corteccia e che controllano indirettamente l'esecuzione dei vari movimenti e si mostrano difettosi in alcuni difetti motori come il Parkinson. L'insieme di queste due strutture cerebrali prende il nome di sistema o complesso corticostriato. Questo stesso sistema sembra ora implicato anche nell'apprendimento di funzioni cerebrali che non comportino alcun movimento fisico, ma solo l'esecuzione di una specifica attività mentale (si veda Koralek A.C. e collaboratori, in «Nature», Vol. 483, pp. 331-335).

Queste ricerche mirano a capire in dettaglio che cosa succede e soprattutto che cosa potrebbe succedere in futuro nella testa di un individuo che usi il suo cervello per «comandare» specifiche apparecchiature, come braccia meccaniche o interruttori azionati con la sola forza della mente. Si tratta di quelle tecniche di interfacciamento fra cervello e macchina di cui si parla sempre più spesso e che comportano l'inserzione nel cervello di particolari microapparecchiature, essenzialmente un complesso di microchip, allo scopo di azionare «con il pensiero» congegni meccanici telecomandati.

Il cervello impara a generare particolari segnali nervosi che sono captati e amplificati dal microchip collocato in sito; il segnale amplificato è poi inviato a un ricevitore, collocato fuori dal corpo, che comanda direttamente i congegni da azionare. Con questa strategia uno scimmiotto può imparare a controllare un braccio meccanico e un essere umano paralizzato può aprire la finestra, accendere la televisione e controllare la posta elettronica. Nella prima fase, di allenamento, si tratta di imparare quale sforzo mentale fare per raggiungere un determinato obiettivo.

Che l'apprendimento dell'esecuzione di questi «movimenti intenzionali senza movimento» richieda l'attivazione della corteccia motoria è noto da qualche tempo, mentre fino a oggi si ignorava se fosse implicato anche lo striato. Per ottenere questa risposta, e più in generale per analizzare sperimentalmente il fenomeno, a un certo numero di ratti sono stati impiantati elettrodi nel sistema corticostriato e se ne sono registrati i segnali, che poi sono stati usati per produrre all'esterno un suono di determinata frequenza che il ratto potesse sentire.



Sean Gallup/Getty Images

La forza del pensiero. Alla fiera della tecnologia di Amburgo, un uomo gioca con un flipper collegato a un elettroencefalografo.

Nella fase di allenamento, della durata di due settimane, il ratto ha potuto variare leggermente la frequenza del suono: se era alta a sufficienza l'animale riceveva una dose di acqua zuccherata; se invece era sufficientemente bassa riceveva cibo. Così facendo il topo imparava a controllare il suono e riceveva acqua o cibo a seconda del comando cerebrale che dava, e quindi della nota che faceva risuonare. Un gruppo di ratti di controllo è stato trattato nella stessa maniera, ma non è stato emesso alcun suono, con il risultato che non hanno imparato niente perché non si sono potuti basare sull'ascolto del suono stesso.

Si tratta di un'azione intenzionale? Al ratto non lo si può evidentemente chiedere, ma si possono ricostruire le sue intenzioni ricorrendo a un trucco. Se ha già bevuto molto, finirà per desiderare cibo e quindi far risuonare la nota bassa, mentre se ha mangiato a sufficienza vorrà bere e quindi farà risuonare la nota alta. Lo stesso esperimento è stato anche eseguito su ratti con uno striato non funzionante, e l'apprendimento non c'è stato, dimostrando così che l'integrità dello striato è richiesta anche per questo particolare tipo di apprendimento.

Crediamo di aver sufficientemente illustrato l'importanza pratica di esperimenti dal genere, ma non sfuggirà nemmeno la loro importanza per una conoscenza del cervello sempre più dettagliata e della stretta commissione che c'è fra percezione e azione: in natura la prima è sempre e solo finalizzata alla seconda.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

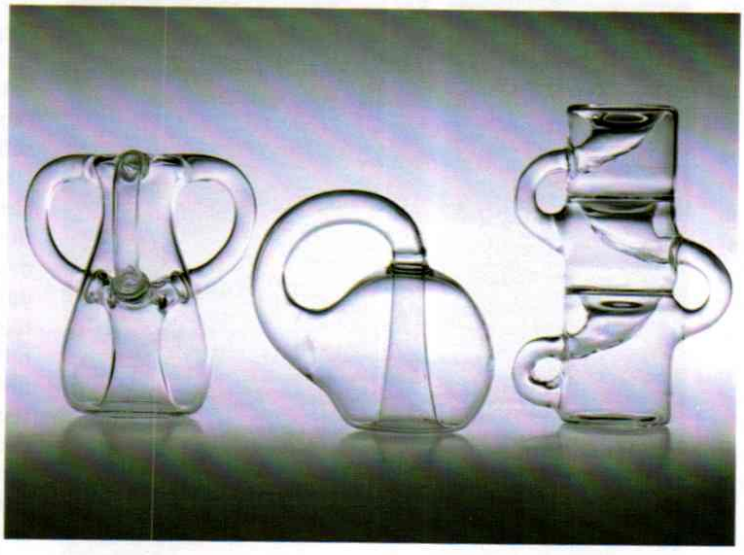
Disorientamento totale

Secondo appuntamento con il bizzarro mondo della topologia: la bottiglia di Klein

Lo scorso mese abbiamo narrato l'inizio della storia del disorientamento topologico, notando che se si incollano due lati opposti di un rettangolino di carta si ottiene un cilindro. Ma se prima di incollarli si fa fare al rettangolino un mezzo giro, si ottiene un nastro di Möbius. Ora vogliamo completare l'opera, incollando anche i due bordi rimasti. Nel primo caso si ottiene una ciambella, che i matematici chiamano toro. E nel secondo?

La cosa non è semplice da fare, nello spazio tridimensionale, ed è più semplice immaginare di incollare i bordi di un cilindro, dopo aver fatto loro fare un mezzo giro. Ma non basta far fare il mezzo giro al cilindro stesso, perché in questo caso non si ottiene niente di diverso da un toro, benché a spirale. Per far fare veramente un mezzo giro al bordo, bisogna incollarlo all'altro estremo dopo averlo fatto penetrare attraverso la superficie. Si ottiene così la bottiglia di Klein, scoperta nel 1882 da Felix Klein.

In realtà il nome è un fraintendimento, perché il tedesco *Kleinsche fläche*, «superficie di Klein», è stato confuso con *Kleinsche flasche*, «bottiglia di Klein». Il termine è rimasto, comunque, perché quando si cerca di raffigurare la superficie nello spazio tridimensionale si ottiene effettivamente qualcosa che somiglia a una bottiglia. Ma la somiglianza è puramente superficiale, appunto, perché come il nastro di Möbius non ha né un sopra né un sotto, così la bottiglia di Klein non ha né un fuori né un dentro: in particolare, non può contenere niente di ciò che vi si versa.



Dal virtuale al reale. Bottiglie di Klein, termine con cui in realtà ci si riferisce a una superficie senza separazione tra «dentro» e «fuori».

La caratteristica mancanza di separazione fra «dentro» e «fuori» della bottiglia di Klein è stata metaforicamente illustrata da Vladimir Nabokov nel romanzo *Il dono*, del 1937. Il protagonista dentro il libro è uno scrittore che descrive come ha iniziato a scrivere la sua prima opera, e alla fine si scopre che si tratta dell'autore del libro stesso. Il procedimento è poi stato portato alle estreme conseguenze nel 1979 da Italo Calvino, in *Se una notte d'inverno un viaggiatore*.

Passando dalle metafore alla realtà, la più singolare bottiglia di Klein che esista è sicuramente una casa sulla penisola di Morlington, vicino a Melbourne, progettata nel 2008 dagli architetti dello studio McBride Charles Ryan. L'edificio si sviluppa attorno a un cortile, avvolto da una scala rossa a spirale che si autointerseca e collega tutte le stanze della casa, che si possono considerare tutte sia interne che esterne.

Naturalmente, niente obbliga a chiudere un nastro di Möbius alla maniera di un cilindro. Anzi, la simmetria richiederebbe di chiuderlo a nastro di Möbius, appunto: cioè dando un mezzo giro anche ai due lati liberi del rettangolo che lo definisce. Questa volta si ottiene il piano proiettivo, il cui nome lascia intuire che appare nella matematica anche sotto altre forme.

Come già per il nastro di Möbius, anche per il piano proiettivo si ottengono due modelli nello spazio tridimensionale, a seconda che il secondo mezzo giro sia dato nella stessa direzione del primo o in quella contraria. Naturalmente, come già per la bottiglia di Klein, anche i modelli tridimensionali del piano proiettivo sono costretti ad autointersecarsi e a essere tutti scorretti, in qualche modo.

In *Sylvia and Bruno concluded*, secondo volume del seguito della più famosa saga di Alice, Lewis Carroll indica come costruirne uno. Si prendono tre fazzoletti quadrati. Se ne cuciono due lungo un lato. Si cuciono i lati opposti con un mezzo giro. E infine si cuce il terzo fazzoletto lungo il bordo del nastro di Möbius così ottenuto.

L'edizione originale del 1893 riporta un'illustrazione del risultato, che Carroll chiama «borsa di Fortunato». Il riferimento è a una storia del XV secolo, in cui l'omonimo protagonista riceve dalla Fortuna una borsa dall'inesauribile contenuto. Carroll nota che nella borsa cucita secondo le sue istruzioni, «ciò che è dentro è fuori, e ciò che è fuori è dentro: dunque c'è tutta la ricchezza del mondo». Anche se ammette che, per cucire la borsa di Fortunato, «ci vorrà del tempo: meglio farlo dopo il tè». Per chi voglia veramente provarci, sembra che sia più agevole farlo a maglia o all'uncinetto.

SPL/Science Museum/Getty Images

COMUNE DI PADOVA
Assessorato alla Cultura

PATROCINIO
REGIONE DEL VENETO

Galileo

Premio letterario per la divulgazione scientifica

Padova 2012- VI edizione

CERIMONIA FINALE E PROCLAMAZIONE DEL VINCITORE

3 MAGGIO - Centro culturale Altinate San Gaetano

http://padovacultura.padovanet.it

Camera di Commercio Padova

fondazione ANTONVENETA

con il patrocinio di

Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca

Ministero per i Beni e le Attività Culturali

Fondazione Il Campiello

Accademia Galileiana di Scienze Lettere ed Arti in Padova

si ringrazia

Provincia di Padova

ANCI

UPI

Università degli Studi di Padova

Turismo Padova Terme Euganee

con il sostegno di

SCHÜCO

eni cultura dell'energia energia della cultura

CONSORZIO VENEZIA NUOVA

COVECO

MORELLATO Gioielli da vivere

APS advertising

MAAP

ne-t nordest technology TELERETE nordest srl

TELECOM ITALIA

Società delle Autostrade di Venezia e Padova

sponsor tecnici

Padova

noleggiami.eu

PLANETARIO

media sponsor

la tribuna di Treviso

il mattino di Padova

la Nuova di Venezia e Mestre

Focus

Cœlum Astronomia

PANTHEON

di Roberto Battiston
Professore ordinario di fisica sperimentale all'Università di Perugia
www.robertobattiston.it

Costruttori di universi

Creare un universo al computer per studiarne la complessità non è poi così difficile

Molti sono i modi con cui gli scienziati studiano la natura. Con la logica e la matematica sono riusciti a carpire e a scrivere alcune leggi e principi fondamentali della fisica e a descrivere in modo analitico e dettagliato il comportamento dei sistemi fisici più semplici. Se però studiamo le proprietà degli elementi di una montagna di traversine e bulloni di acciaio non riusciamo a immaginare la Tour Eiffel o l'Empire State Building. Allo stesso modo, la comprensione dei processi fondamentali ci dice poco dei possibili risultati dell'enormemente complessa interazione di sistemi formati da moltissimi mattoni elementari: a seconda dei casi, particelle, atomi, cellule, individui, asteroidi, stelle o addirittura galassie.

Lo sviluppo di strumenti in grado di permetterci di studiare e capire la complessità è una sfida contemporanea paragonabile alla nascita della moderna scienza galileiana. Prendiamo il più semplice caso da manuale, il problema gravitazionale dei tre corpi: secoli di studi hanno mostrato che non è risolvibile in modo analitico in quanto intrinsecamente caotico. Solo con l'avvento di computer dotati di enorme potenza di calcolo è stato possibile raccogliere questa sfida.

Negli ultimi decenni lo sviluppo di algoritmi per trattare il problema di *N* corpi interagenti secondo diverse leggi si è sviluppato in modo esponenziale, producendo risultati molto interessanti. Uno dei casi più noti è lo studio della formazione di strutture dell'universo come le stelle, le galassie o gli ammassi di galassie. Se negli anni sessanta si riusciva a fatica ad analizzare qualche decina di corpi interagenti, nel 2005 la Millennium Simulation, impegnando 512 processori paralleli, ha usato 10 miliardi di «particelle», ciascuna studiata nel corso di 11.000 istanti, dalla formazione delle prime stelle fino ai giorni nostri. Qui per «particella» si intende qualcosa che ha una massa di alcune centinaia di milioni di masse solari: la simulazione è in grado di studiare galassie formate da 100 «particelle» e risolvere strutture di dimensioni pari a 10 chiloparsec (un terzo del diametro della nostra galassia) ma anche di riprodurre la formazione di ammassi di galassie contenenti fino a 3 milioni di «particelle».

Questo tipo di simulazioni è uno dei pochi strumenti a disposizione per collegare le teorie cosmologiche e sulla formazione delle strutture nell'universo alle sempre più accurate osservazioni sperimentali: è in questo modo, per esempio, che i dati di WMAP e Planck forniscono informazioni sulla materia oscura o sulla distribuzione a grande scala delle galassie.

Dato che di universo ne abbiamo uno solo, la scienza galileiana del «provando e riprovando» si rivolge al computer per creare e studiare universi con caratteristiche statisticamente simili a quello in cui viviamo e capire così quali siano le leggi alla base del suo funzionamento. In fondo creare un universo al calcolatore non è così difficile: la Millennium Simulation è durata meno di un mese, ma oggi durerebbe due giorni, dato che la potenza di calcolo raddoppia ogni due anni. Simulazioni di complessità crescente si stanno sviluppando nei settori più disparati, dalla chimica alla biologia, dalle neuroscienze alla meteorologia, dalla genomica alle scienze sociali. Naturalmente ognuna di queste simulazioni ha i suoi limiti, ma l'idea è che siano sufficientemente accurate da riprodurre alcune delle proprietà dei sistemi che appaiono evidenti, ma non derivabili dai principi primi.

L'obiettivo è sempre lo stesso: individuare leggi, regolarità, caratteristiche che permettano di capire la complessità dei sistemi, per leggere i molti capitoli del libro galileiano della natura, di cui, 400 anni dopo l'inizio della scienza moderna, abbiamo solo sfogliato l'indice.

Potenza di calcolo. Nel 2005 la Millennium Simulation – nell'immagine, la distribuzione della materia oscura – impiegò un mese per «ricostruire» l'universo. Oggi basterebbero due giorni.

Max-Planck-Institut für Astrophysik

FAI VOLARE VIA QUELLA FASTIDIOSA SENSAZIONE DI PESANTEZZA

Sentirsi gonfia, rallentata o svogliata: sono sensazioni che non devono necessariamente far parte della vita di ogni giorno. All-Bran, ricco di fibre naturali di crusca di frumento, ti aiuta a ritrovare la tua naturale regolarità e ti prepara ad affrontare bene la giornata. Comincia subito a rinnovarti: prova All-Bran a colazione e nelle pause come snack.

© 2012 Kellogg Company

All-Bran
Rinnovati in ogni fibra

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Il santuario delle amigdale

Un'area vicino Buia, in Eritrea, potrebbe riservare sorprese su *Homo ergaster*

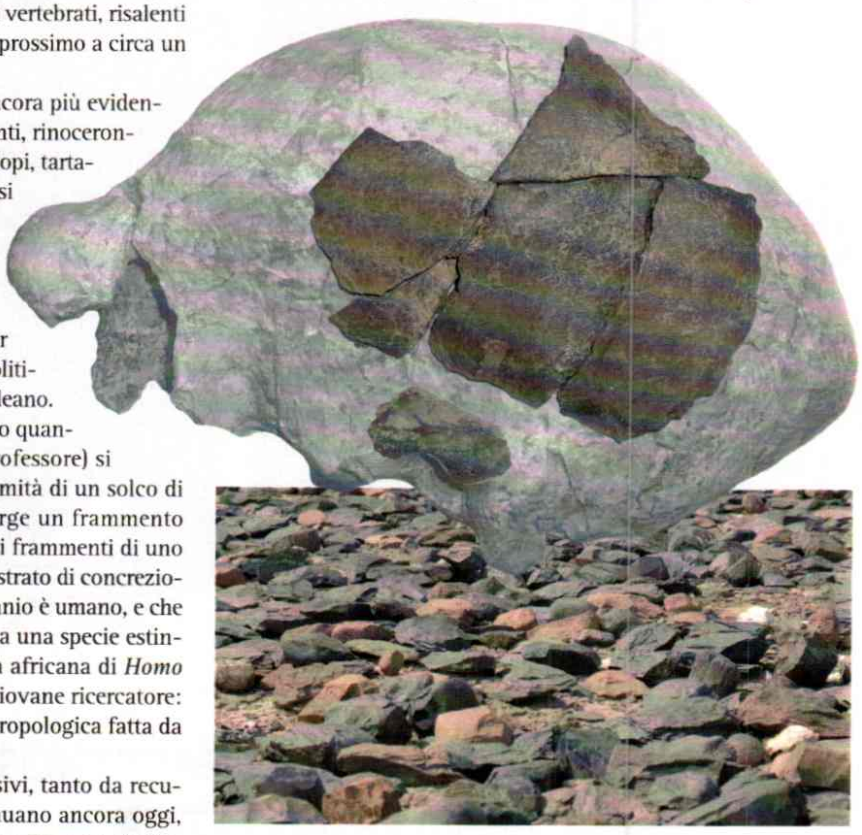
Dicembre 1995, passato lì tra i contrafforti e le depressioni dell'arido altopiano all'imbocco della Great Rift Valley, in Africa orientale. I geologi e i paleontologi dell'Università di Firenze si trovano dalle parti del villaggio di Buia, in Eritrea, oltre 100 chilometri a sud-est dalla capitale Asmara e dal porto di Massawa sul Mar Rosso. La missione di ricerca italiana ha il compito di effettuare dettagliati rilevamenti geologici su depositi argillosi e sabbiosi profondamente modellati dall'erosione che già l'anno prima si erano rivelati ricchissimi di ossa fossili di vertebrati, risalenti a un orizzonte cronologico più probabilmente prossimo a circa un milione di anni fa.

Agli occhi esperti dei paleontologi, ora è ancora più evidente la presenza di varietà pleistoceniche di elefanti, rinoceronti, ippopotami e maiali, di zebre, gazzelle e antilopi, tartarughe e coccodrilli. L'ambiente preistorico che si può ricostruire, combinando i dati, è caratteristico di una savana boscosa con ampi spazi aperti e la presenza di corsi d'acqua e specchi lacustri, più o meno stagnanti. Inoltre, associati ai fossili ci sono molti manufatti, per la maggior parte riferibili a quella fase del Paleolitico inferiore che gli archeologi chiamano Acheuleano.

È uno degli ultimi giorni di attività sul campo quando un giovane ricercatore (oggi affermato professore) si inerpica per dare ancora un'occhiata alla sommità di un solco di erosione. È su quella piccola collina che scorge un frammento d'osso, e poi un altro, e un altro ancora: diversi frammenti di uno stesso cranio, con il lato destro inglobato nello strato di concrezione calcarea. La cosa straordinaria è che quel cranio è umano, e che le sue caratteristiche consentono di ascriverlo a una specie estinta del genere *Homo: Homo ergaster*, la varietà africana di *Homo erectus*. L'emozione è «fortissima», scriverà il giovane ricercatore: si tratta della più importante scoperta paleoantropologica fatta da italiani fuori dai confini della nostra penisola!

Le ricerche continuarono nei giorni successivi, tanto da recuperare le restanti parti di quel cranio. E continuano ancora oggi, grazie a un progetto internazionale denominato Eritrean-Italian Danakil Expedition: Anthropo-Archaeological and Geo-Paleontological Mission, che vede coinvolti, oltre all'Università di Firenze, ricercatori dell'Eritrean National Museum e dell'Università di Asmara, della «Sapienza» Università di Roma e del Museo Pigorini di Roma, di varie altre università italiane, dell'Università di Barcellona, del Muséum National d'Histoire Naturelle di Parigi.

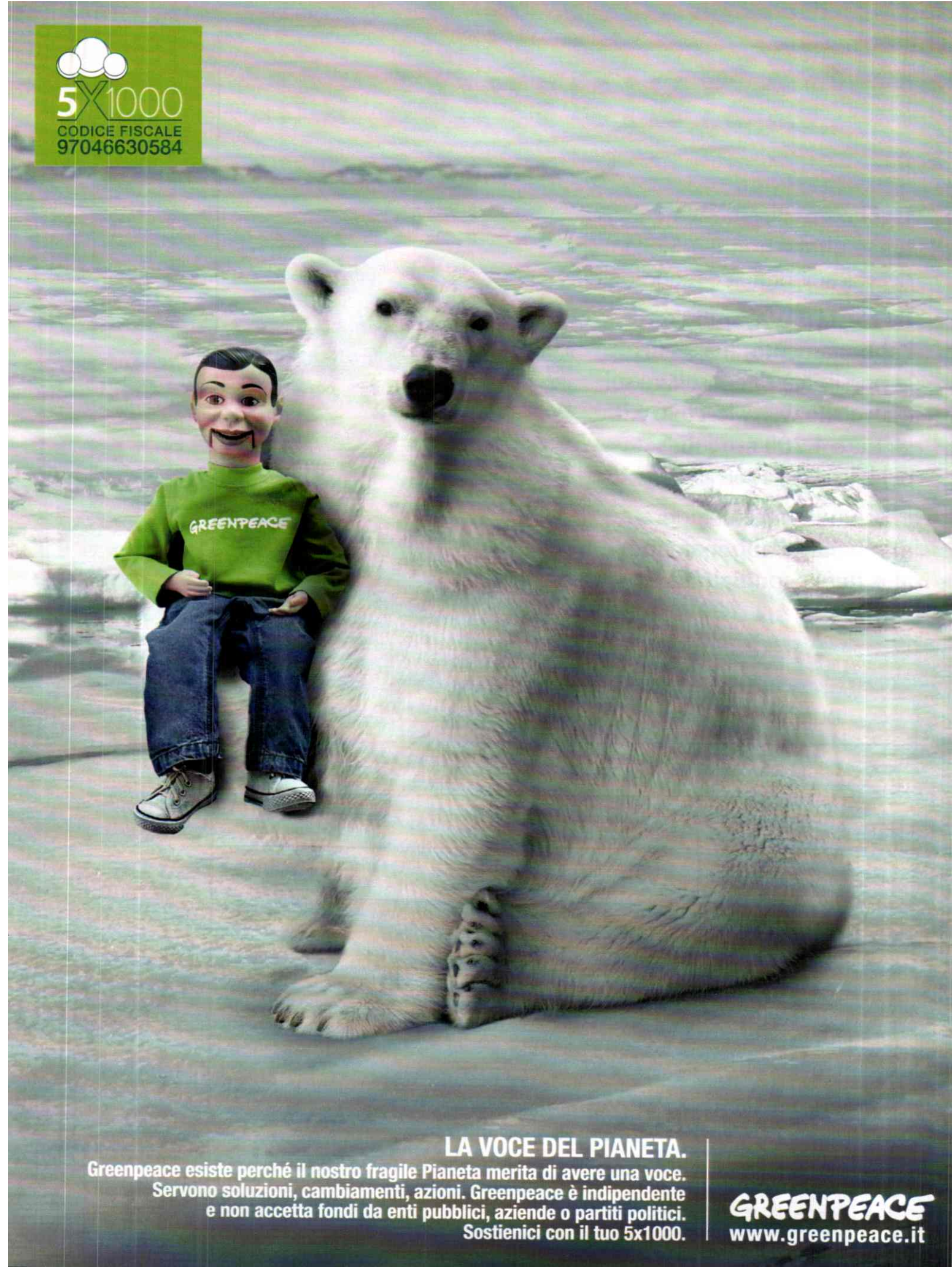
Dopo quel primo, importante cranio del dicembre 1995 – il cui complesso restauro si è concluso nel 2003 e il cui studio dettagliato è in corso, anche se alcune pubblicazioni sono da tempo in circolazione, compresa quella su «Nature» del 1998 – di resti umani ne sono stati trovati ormai parecchi: un osso dell'anca femminile in due grossi frammenti, due denti incisivi, un frammento di sinfisi pubica (maschile), una porzione di osso frontale di un secondo cranio, alcuni frammenti di ossa parietali e temporali di un altro cranio ancora, la corona di un molare mandibolare. La notizia forse più entusiasmante dell'ultima campagna è la scoperta di quello che è stato chiamato «il santuario della amigdale»: un'area di circa 400 metri quadrati dove sono concentrate decine e decine di manufatti in basalto, selce e quarzite accumulatisi nel tempo.



Reperti dal campo. In alto, uno dei crani trovati a Buia (*in bianco*) con frammenti di cranio di un altro individuo (*in marrone*). Qui sopra, i manufatti che caratterizzano «il santuario delle amigdale».

Nell'area esplorata, ampia alcune decine di chilometri, sono numerosi i giacimenti individuati con associazione di ossa fossili e manufatti litici. Gli uomini hanno lasciato chiare tracce in almeno due insediamenti già presi in esame, ma di possibili siti del genere ce ne sono almeno altri 30, non ancora indagati in dettaglio. Insomma, di Buia ne sentiremo parlare... E molto.

Cortesia Eritrean-Italian Danakil Expedition: Anthropo-archaeological and Geo-Paleontological Mission


5X1000
CODICE FISCALE
97046630584
GREENPEACE
LA VOCE DEL PIANETA.
Greenpeace esiste perché il nostro fragile Pianeta merita di avere una voce.
Servono soluzioni, cambiamenti, azioni. Greenpeace è indipendente
e non accetta fondi da enti pubblici, aziende o partiti politici.
Sostienici con il tuo 5x1000.
GREENPEACE
www.greenpeace.it

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

SPECIALE ABBONAMENTO

Ogni mese direttamente a casa tua le ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.

IN ESCLUSIVA, solo con l'abbonamento, ti assicuri la possibilità di consultare sul **nuovo sito www.lescienze.it** gli oltre **4.200 articoli** pubblicati dal 1968 ad oggi!

E, se vuoi, puoi decidere di **regalare l'abbonamento alle stesse condizioni!**

SCEGLI LA TUA OFFERTA!

DURATA	PREZZO DI COPERTINA	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO - 12 NUMERI	~~€54,00~~	€39,00	€15,00
2 ANNI - 24 NUMERI	~~€108,00~~	€75,00	€33,00
3 ANNI - 36 NUMERI	~~€162,00~~	€99,00	€63,00

Offerta valida solo per l'Italia

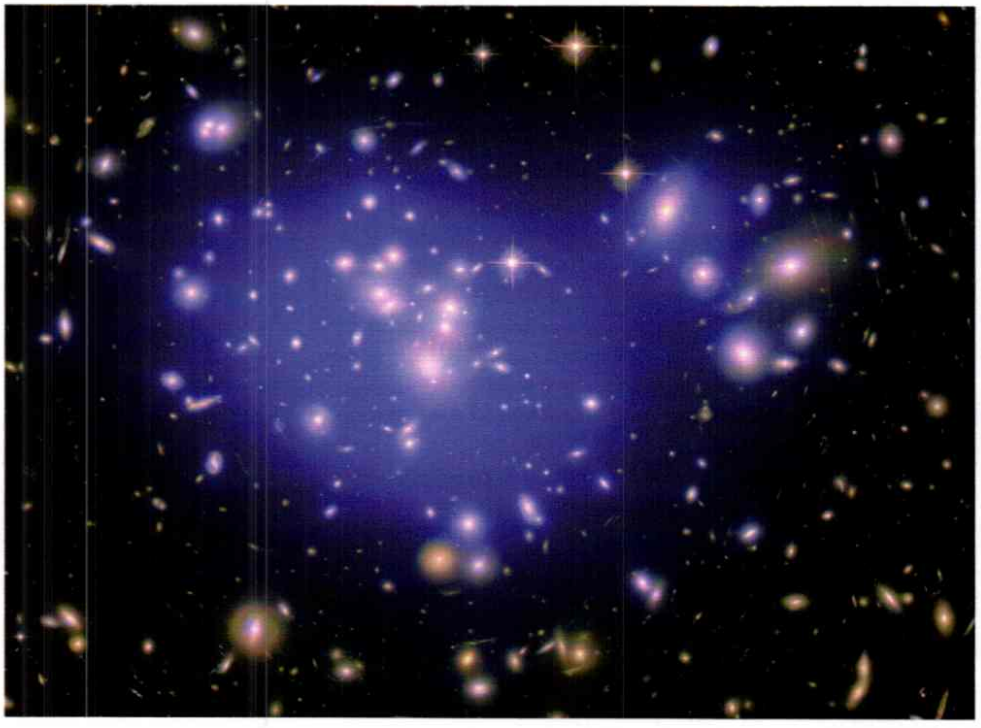
SCEGLI DI ABBONARTI!

- **È CONVENIENTE**
  Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio!
- **È COMODO**
  Riceverai Le Scienze ogni mese a casa tua senza alcun costo aggiuntivo e con il prezzo bloccato!
- **È FACILE**
  ✓ Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
  ✓ Chiama il n. 199.78.72.78* **(0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari.)**
  *Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).
  ✓ Compila, stacca e spedisci - anche via fax - la cartolina che trovi nella rivista

COSMOLOGIA

Un fenomeno per ammassi galattici

Osservato l'effetto Sunayev-Zel'dovich cinematico, cruciale per l'evoluzione del cosmo



Oggetto lontano. Abell 1689, ammasso di galassie distante 2,2 miliardi di anni luce dalla Terra, fotografato dal telescopio spaziale Hubble. L'alone viola è stato aggiunto per illustrare la distribuzione di materia oscura dell'ammasso. Per la prima volta è stato rilevato l'effetto Sunyaev-Zel'dovich cinematico, cioè uno spostamento di fotoni al passaggio attraverso ammassi di galassie in movimento rispetto alla Terra.

NASA/ESA/E. Jullo, Jet Propulsion Laboratory/P. Natarajan, Yale University/J.-P. Kneib, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, CNRS

Grazie alla collaborazione di due progetti indipendenti è stato osservato per la prima volta l'effetto Sunyaev-Zel'dovich cinematico, più brevemente «effetto kSZ», teorizzato nel 1972. A rilevarlo è stata una collaborazione di 58 ricercatori, tra i quali Elia Battistelli, della «Sapienza» Università di Roma, guidati da Nick Hand, già alla Princeton University e adesso all'Università della California a Berkeley, che a marzo ha inserito *on line* sulla banca dati di preprint ArXiv un articolo proposto per la pubblicazione su «Physical Review Letters».

Ipotizzato quarant'anni fa dai due fisici sovietici Rashid A. Sunyaev e Yakov B. Zel'dovich, l'effetto cinematico (kSZ) è diverso da quello termico (tSZ), teorizzato alcuni anni prima, era il 1969, e già osservato da tempo. L'effetto tSZ consiste infatti in un lieve «riscaldamento» per effetto Compton inverso dei fotoni della radiazione cosmica di fondo da parte del gas caldo di elettroni che si trova negli ammassi di galassie attraversati dai fotoni nel loro viaggio fino a noi, mentre l'effetto kSZ consiste in un leggero spostamento Doppler verso il rosso o verso il blu degli stessi fotoni al passaggio attraverso ammassi di galassie in allontanamento o in avvicinamento lungo la linea di vista. Per ammassi molto massicci l'effetto termico è 20 volte maggiore di quello cinematico, mentre per ammassi attorno a 10^{13} masse solari (molto più abbondanti) i due segnali sono confrontabili.

Per evidenziare l'effetto Sunyaev-Zel'dovich cinematico, Hand e collaboratori hanno incrociato i dati di due importanti progetti: la ricognizione condotta nelle microonde sulla radiazione cosmica di fondo dall'Atacama Cosmology Telescope (ACT) e quella condotta nel visibile sulla localizzazione degli ammassi di galassie dalla Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS). L'effetto kSZ è infatti così debole da non essere rilevabile dall'interazione della radiazione cosmica di fondo con un unico ammasso di galassie, ma può invece essere evidenziato combinando i segnali di molti ammassi di galassie.

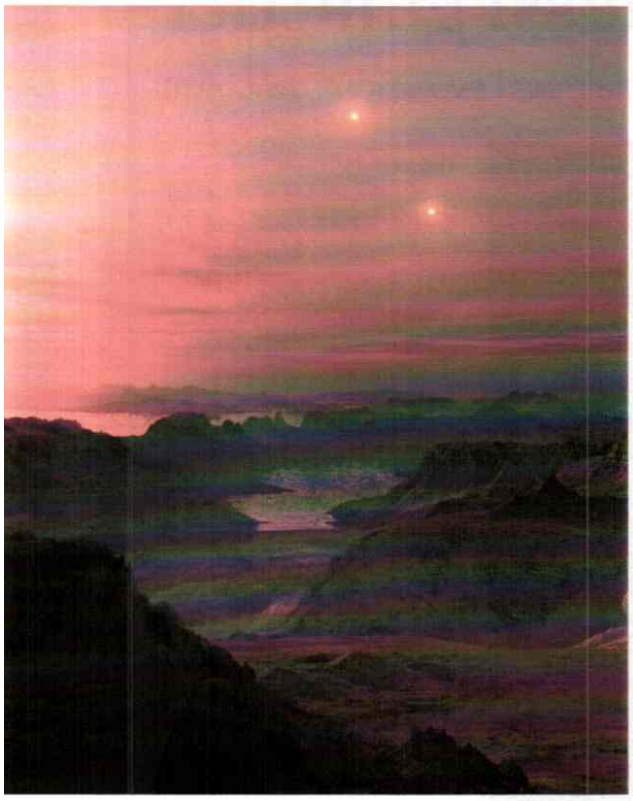
L'osservazione dell'effetto kSZ riveste particolare importanza in ambito cosmologico perché permette di misurare le velocità degli ammassi lontani in maniera più precisa e indipendente da altre tecniche e di determinare quindi le intensità effettive delle forze gravitazionali reciproche, tenendo conto anche delle eventuali componenti di materia e di energia oscura, che si ipotizza governino i moti a grande scala delle galassie e l'espansione dell'universo nel suo insieme. I metodi tradizionali di misura delle velocità richiedono infatti di conoscere con estrema precisione le distanze degli oggetti, mentre l'intensità dell'effetto kSZ è indipendente dalla distanza da noi degli ammassi di galassie, così da permettere di condurre misure a distanze maggiori.

Emiliano Ricci

ASTRONOMIA

Miliardi di superTerre

Rivista al rialzo la stima di pianeti simili alla Terra attorno a nane rosse



Un gruppo internazionale di astronomi guidato da Xavier Bonfils, dell'Università «Joseph Fourier» di Grenoble, ha stimato che il numero di superTerre, pianeti di massa compresa fra 1 e 10 masse terrestri, nella zona abitabile attorno alle stelle nane rosse sia molto più elevato di quanto ipotizzato fino a oggi. In particolare, Bonfils e collaboratori ritengono che questo numero possa essere di decine di miliardi di pianeti solo nella nostra galassia, e che un centinaio possano trovarsi entro 30 anni luce di distanza da noi.

Per arrivare a questo risultato, pubblicato su «Astronomy&Astrophysics», il gruppo ha impiegato lo spettrografo HARPS montato sul telescopio ESO da 3,6 metri di La Silla, in Cile. La stima si basa sull'osservazione di 102 nane rosse, nove delle quali con superTerre, di cui due nella zona abitabile, cioè nella regione nella quale è possibile la permanenza di acqua liquida sulla superficie del pianeta.

Considerando il numero di stelle senza pianeti, la rarità di giganti gassosi attorno a nane rosse, e che le nane rosse costituiscono l'80 per cento della stelle della nostra galassia, il gruppo ha concluso che la frequenza di superTerre nelle zone abitabili delle nane rosse è pari al 41 per cento.

Emiliano Ricci

Comunicare con i neutrini

Comunicare con l'Australia in modo istantaneo, senza satelliti, ponti radio o cavi. Impossibile? No, se in futuro si potranno usare i neutrini come mezzo per trasportare informazioni, come suggerisce un esperimento di ricercatori dell'Università di Rochester e della North Carolina State University, diretti dal fisico Dan Stancil. I fotoni con frequenze radio sono facilmente assorbiti da rocce e acqua, e per percorrere grandi distanze o aggirare ostacoli sono necessari amplificatori e ripetitori, a terra o in orbita. Tutto ciò si potrebbe evitare usando i neutrini, particelle elementari quasi prive di massa, prodotte in molte reazioni nucleari e in grado di attraversare un pianeta senza quasi interagire con la materia.

Come spiega in un articolo proposto a «Modern Physics Letters A», il gruppo di Stancil è riuscito a trasmettere un messaggio fra un emettitore e un ricevitore distanti molti chilometri fra loro usando un fascio di neutrini modulato in modo da rappresentare un codice binario. Un computer collegato al ricevitore ha decifrato il codice, facendo apparire sullo schermo quanto trasmesso: la parola «neutrino». In teoria, usando questo sistema sarebbe possibile trasmettere un messaggio fra due punti qualsiasi della Terra o dello spazio: le particelle attraverseranno in linea retta ogni ostacolo e arriveranno, quasi alla velocità della luce, al destinatario.

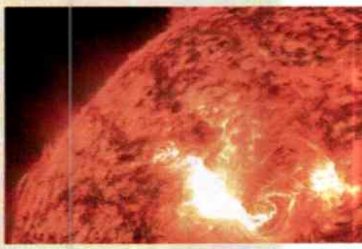
L'entusiasmo per questa possibilità diminuisce però quando si entra nei dettagli dell'esperimento: come trasmettitore, i ricercatori hanno usato l'acceleratore di 2,5 chilometri di diametro del Fermi National Accelerator Laboratory, facendo collidere protoni contro un bersaglio di carbonio. Il ricevitore, invece, è l'esperimento MINERvA, sempre del Fermilab, uno scintillatore di 5 tonnellate di peso per rilevare neutrini, collocato in una caverna a 100 metri sotto terra. Insomma, non proprio dispositivi portatili. «Al momento non è molto pratico da usare», ha ammesso uno dei colleghi di Stancil, il fisico Kevin McFarland. «Ma il primo passo per ogni innovazione è dimostrare che l'idea di base funziona, usando la tecnologia che si ha a disposizione al momento».

Alex Saragosa

Solemoti da emissioni di massa coronale

Ipotizzati nel 1972 da Charles Wolff, i terremoti solari, o solemoti, sono stati osservati soltanto nel 1998, dopo l'analisi dei dati del 1996 della sonda SOHO condotta da Alexander G. Kosovichev e Valentina V. Zharkova. Quel solemoto del 9 luglio 1996, riconoscibile come una serie di cerchi concentrici simili a quelli generati da un sasso tirato in uno stagno, era associato a un brillamento solare.

Ora, grazie ai dati della sonda SDO, un gruppo di astronomi guidato da Sergei Zharkov, dello University College di



Londra, ha scoperto che i solemoti possono essere innescati anche da emissioni di massa coronale (CME), eruzioni di particelle cariche causate dalla riconnessione delle linee di campo magnetico solare. Zharkov, che ha presentato i risultati dello studio al National Astronomy Meeting 2012 di Manchester si è concentrato sull'eruzione solare del 15 febbraio 2011, scoprendo che due solemoti, 1000 volte più potenti del terremoto giapponese di marzo 2011, erano stati generati alle estremità di un tubo di flusso magnetico associato a un'emissione di massa coronale. Non è chiaro quale meccanismo produca un solemoto da una CME.

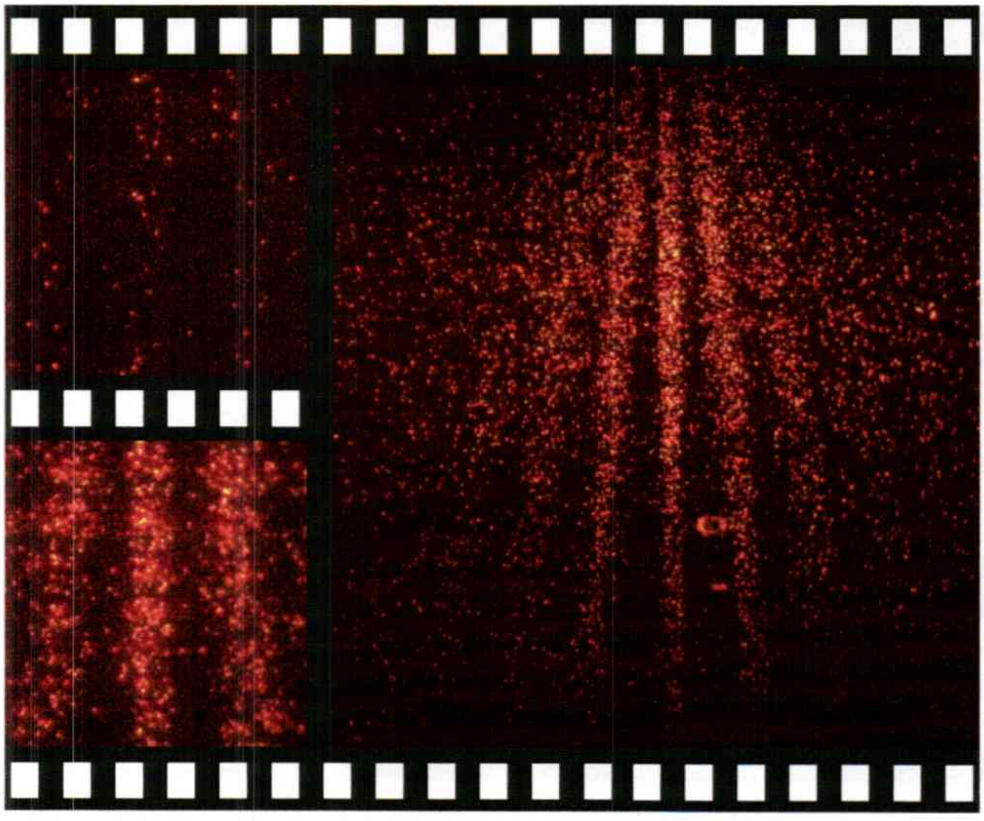
Emiliano Ricci

ESO/L. Calçada (*illustrazione superTerra*); NASA/SDO (*Sole*)

FISICA

Interferenza quantistica in tempo reale

Filmata la formazione di figure di interferenza da parte di una molecola di grandi dimensioni



Università di Vienna/Juffmann e altri, in «Nature Nanotechnology» 2012

Protagonista indiscussa è la ftalocianina, molecola di colorante grande un decimo di millimetro che per la prima volta ha mostrato il suo comportamento quantistico in tempo reale in un filmato. Il curioso set di questa «prima quantistica» è stato allestito nei laboratori del Vienna Center for Quantum Science and Technology, nel corso di un esperimento coordinato da Markus Arndt e Thomas Juffmann, entrambi fisici dell'Università di Vienna.

Mai era stato mostrato il comportamento quantistico in molecole così grandi. Ma questo risultato, pubblicato su «Nature Nanotechnology», non ha solo l'importanza didattica di rendere più tangibile il dualismo onda-corpuscolo alla base della meccanica quantistica. Questa ricerca permetterà di indagare ancora più in dettaglio le proprietà delle molecole che si trovano sulla superficie dei solidi e di migliorare le tecniche di diffrazione impiegate nello studio di atomi e molecole.

Il dualismo onda-corpuscolo è il cuore della meccanica quantistica, e prevede che una particella, oltre a comportarsi come un corpuscolo, esibisca anche un aspetto ondulatorio, per esempio generando fenomeni di interferenza o diffrazione. Per evidenziare questi aspetti ondulatori si può far passare un fascio di particelle attraverso una doppia fenditura o un reticolo, e mostrare così le figure d'interferenza create da elettroni, atomi o molecole. Ma per molecole grandi come le ftalocianine, che possono contenere molte decine di atomi, l'interazione con il reticolo causata dalle forze di van der Waals introduce effetti spuri nella figura di interferenza.

Per ridurre questo problema, il gruppo di Vienna ha realizzato appositamente un reticolo spesso solo 10 nanometri. Grazie a uno speciale microscopio a fluorescenza è stato inoltre possibile registrare la posizione di ogni singola molecola dopo il passaggio attraverso il reticolo. In questo modo, molecola dopo molecola, gli scienziati hanno visto formarsi la figura di interferenza generata dalla natura ondulatoria delle molecole. Per vedere questo spettacolare filmato quantistico, basta andare all'indirizzo web: http://www.youtube.com/watch?v=vCiOMQIRU7I. Silenzio in laboratorio. Va in scena la meccanica quantistica.

Massimiliano Razzano

Metalli che conducono la luce

Ricercatori della Purdue University hanno scoperto un nuovo materiale ceramico a base di nitruro di titanio che potrebbe finalmente colmare la distanza tra fotonica ed elettronica. Attualmente infatti, malgrado lo stato avanzato della ricerca, i «materiali plasmonici», in grado cioè di trasportare i plasmoni, quasiparticelle associate a onde di densità degli elettroni indotte dalla luce, hanno ancora una scarsa integrazione nei dispositivi elettronici a causa delle difficoltà nella gestione di segnali ottici a scala nanometrica.

Come ha spiegato Alexandra Boltasseva, uno degli autori della scoperta, «il nitruro di titanio è un candidato promettente per la messa a punto di nuove tecnologie basate su materiali plasmonici e metamateriali».

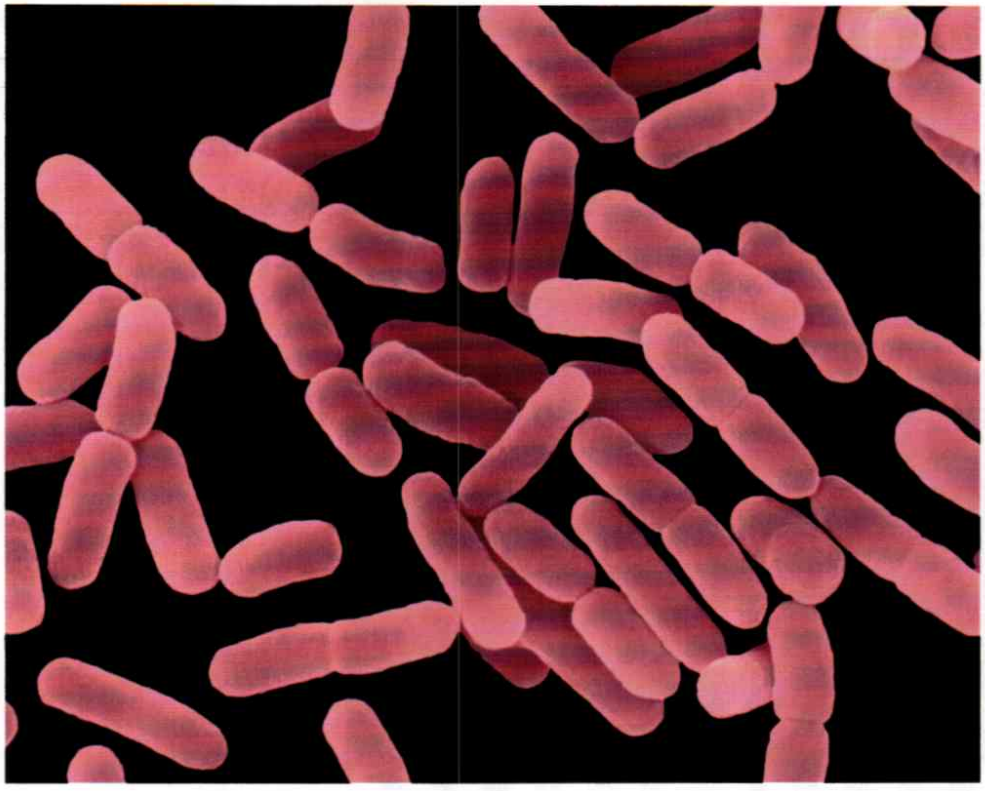
In un esperimento illustrato su «Optical Materials Express» il gruppo di ricerca della Purdue University ha testato l'ottima capacità del nitruro di titanio di propagare plasmoni di superficie, applicando uno strato sottilissimo di questo materiale su un substrato di zaffiro. Inoltre, dato che questo materiale ceramico mostra anche particolari caratteristiche meccaniche e di lavorabilità, sembra aprirsi una strada verso una più produzione economica ed efficiente di dispositivi optoelettronici.

Marina Semiglia

BIOLOGIA

L'altra apoptosi dei batteri

Scoperto in *Escherichia coli* un processo di morte cellulare simile all'apoptosi degli eucarioti



Non solo gli eucarioti, ma anche i batteri hanno un meccanismo simile all'apoptosi. Hanna Engelberg-Kulka, della Hebrew University di Gerusalemme, e altri gruppi di ricerca hanno scoperto negli anni novanta che nei batteri c'è un meccanismo di morte programmata, basato su due elementi: una tossina letale stabile, e un'antitossina labile prodotta per bloccarla. Se l'incessante sintesi di antitossina si interrompe, la cellula muore. *Escherichia coli* (*nella foto*) ha numerose coppie di geni per una tossina e la sua antitossina, con varie funzioni. Per esempio, se il gene per l'antitossina è su un plasmide, garantisce che l'intera discendenza erediti il plasmide (le cellule che ne sono prive muoiono). Altri sistemi, tra cui quello della tossina chiamata mazF e l'inibitore mazE, sono attivati da vari tipi di stress, fra i quali i danni al DNA.

Engelberg-Kulka dimostra ora su «PLoS Biology» che i danni al DNA inducono anche un'altra via, che, a differenza della prima, ha molte analogie con la morte programmata per eccellenza: l'apoptosi degli eucarioti. Il nuovo sistema è stato perciò battezzato *apoptotic-like death*. Come è tipico dell'apoptosi, il DNA si frammenta e la membrana perde la polarizzazione elettrica.

Il processo dipende da due proteine. La prima (LexA) appartiene al sistema SOS, con cui di norma, quando il DNA ha danni estesi, la cellula smette di replicarsi e avvia una riparazione generalizzata. LexA attiva una via SOS alternativa, perché blocca la riparazione e promuove invece la morte.

A che cosa servono due distinte vie di morte cellulare? In genere l'apoptosi non si innesca perché è inibita dai componenti del primo meccanismo, e sembra quindi una sorta di riserva: quando qualche componente della via principale non funziona a dovere, l'apoptosi non è più inibita e garantisce comunque la morte della cellula stressata.

In quest'ottica, la presenza contemporanea dei due processi è importante per la possibilità di comportamenti altruistici. La prima via, attivandosi quando la popolazione è soggetta a gravi stress e uccidendone una gran parte, favorisce la sopravvivenza dei pochi batteri restanti, che trovano nell'ambiente gli abbondanti nutrienti liberati dalle cellule morte. La nuova via garantirebbe quindi la morte delle cellule in cui il comportamento altruistico è compromesso.

Giovanni Sabato

Arruolare i linfociti contro la leucemia

«Nature» l'aveva indicato come «metodo dell'anno» per il 2011, e ora l'*editing* del DNA con nucleasi a dita di zinco, una tecnica di manipolazione del DNA con molecole artificiali messa a punto da Luigi Naldini, dell'Istituto San Raffaele-Telethon per la terapia genica di Milano, comincia a dare i primi frutti. Naldini e altri colleghi del San Raffaele l'hanno usata con successo per modificare alcune cellule del sistema immunitario, i linfociti T, per renderle più efficaci contro le cellule tumorali. I risultati dell'esperimento sono stati pubblicati su «Nature Medicine».

Ci sono molti linfociti T differenti, ciascuno in grado di attaccare agenti estranei come virus e batteri grazie a un recettore speciale, il TCR, specifico per molecole che si trovano sulla superficie di questi agenti. La buona notizia è che lo stesso vale per i tumori. La cattiva è che i linfociti antitumorali sono in genere pochi per sferrare un attacco decisivo.

Ebbene: proprio con l'editing del DNA è stato possibile ottenere popolazioni consistenti di queste cellule, sostituendo il TCR naturale di un gruppo di linfociti con un TCR antitumorale, che può essere costruito «su misura» per ogni paziente. I ricercatori si sono concentrati sullo sviluppo di linfociti antileucemia, e sperano di passare in fretta dall'ambito preclinico a quello clinico.

Valentina Murelli

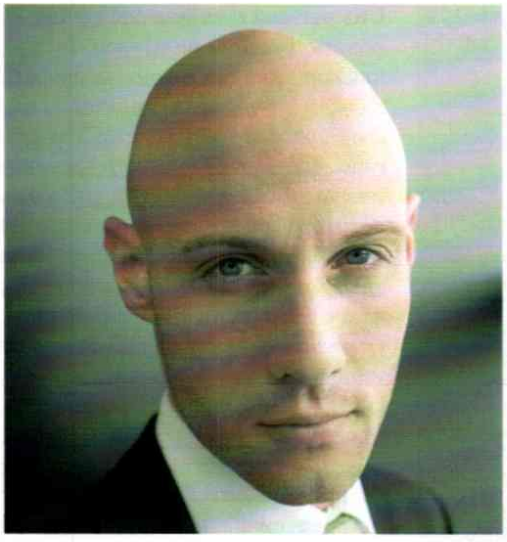
Dennis Kunkel Microscopy, Inc./Visuals Unlimited/Corbis

BIOCHIMICA

Alle radici della calvizie

Una ricerca ha fatto luce sul complesso meccanismo biochimico che provoca la caduta di capelli

La calvizie maschile non sarà una malattia grave, ma è certo un bel fastidio per molti. Ora grazie a un gruppo di ricerca diretto da George Cotsarelis, della University of Pennsylvania School of Medicine, sono emersi importanti dettagli sul meccanismo biochimico alla base di questa condizione, che potrebbero portare a trattamenti più efficaci di quelli attuali.



Holde Benser/Corbis (calvizie); Image Source/Corbis (allergie)

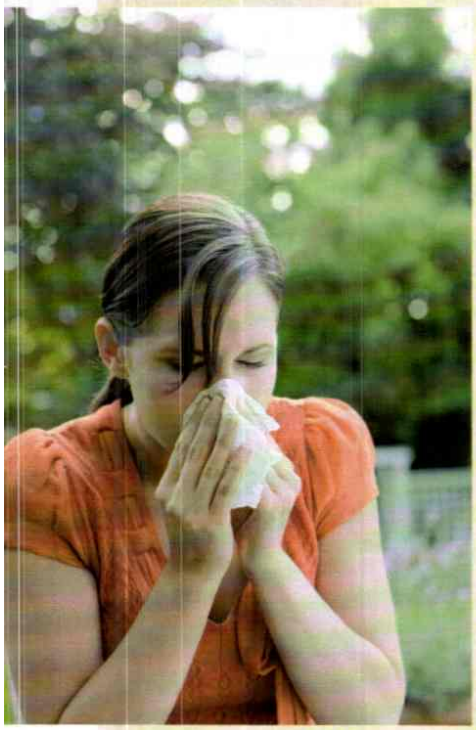
Lo studio degli scienziati statunitensi ha incrociato dati provenienti da fonti diverse. Innanzitutto è stata esaminata l'espressione genica nel tessuto (calvo e non) del cuoio capelluto di cinque individui, ovviamente maschi, affetti da calvizie. Nei campioni provenienti da tessuto calvo i ricercatori hanno trovato una quantità eccessiva di prostaglandina D2 (PGD2).

Le osservazioni però non si fermano qui. Cotsarelis e colleghi hanno infatti osservato che nei topi il picco di espressione genica per PGD2 si ha quando i follicoli piliferi dell'animale cominciano a regredire. E ancora, follicoli piliferi umani in coltura hanno iniziato a regredire dopo essere stati trattati con PGD2. Dunque nell'essere umano l'azione di questa molecola potrebbe avere un collegamento diretto con l'insorgenza della calvizie.

Il meccanismo, come si legge nell'articolo pubblicato su «Science Translational Medicine» è complesso, è coinvolge diversi «inibitori». Secondo Cotsarelis, una molecola chiamata GPR44, che sembra anche avere un ruolo importante nelle malattie allergiche come l'asma, sarebbe fondamentale per attivare l'azione inibitoria di PGD2. Proprio a causa del ruolo di GPR44 nelle malattie allergiche già sono in commercio farmaci che ne controllano l'azione. Secondo Cotsarelis, si potrebbe pensare di testare questi farmaci per il trattamento della calvizie: inibendo l'azione di GPR44 si potrebbe infatti controllare l'azione inibitoria di PGD2 sulla crescita del capello.

Il trattamento basato su PGD2 potrebbe dunque avere successo nel prevenire o arrestare la calvizie, ma si potrebbe addirittura andare oltre. Come spiega Cotsarelis infatti, anche se serviranno ulteriori ricerche per confermarlo, si potrebbe addirittura arrivare alla ricrescita dei capelli nelle zone già calve.

Federica Sgorbissa



Strategie urbane contro le allergie

Nel 2020 l'allergia potrebbe risultare la prima causa di malattie croniche nei paesi industrializzati. L'allarme arriva dall'Istituto superiore per la ricerca e la protezione ambientale (ISPRA), dall'Associazione italiana di aerobiologia (AIA) e dalla Federazione italiana delle associazioni di sostegno ai malati asmatici ed allergici (Federasma), che ne hanno discusso di recente durante un convegno. Secondo Federasma la percentuale di italiani soggetta a episodi allergici è passata dal 10 per cento del 1950 al 30 per cento di oggi. «Questi aumenti non dipendono dalla predisposizione genetica – ha spiegato il presidente di Federasma Sandra Frateiacci – ma da cause ambientali». In cima alla lista nera, dunque, inquinamento, riscaldamento globale e aumento dell'indice pollinico nelle città, cioè la percentuale di polline nell'aria.

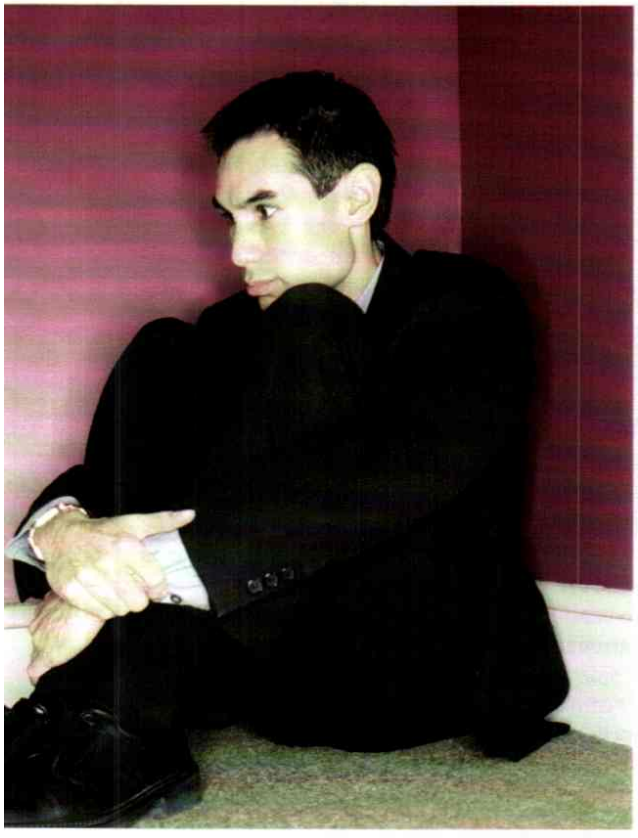
L'aria inquinata veicola di più gli allergeni nelle vie aeree rispetto all'aria pura, mentre l'aumento della temperatura provoca un allungamento della stagione dei pollini. Solo a Roma, l'indice pollinico delle famiglia delle cupressacee, a cui appartiene il cipresso, è passato da 3000 del 2006 a 21.000 nel 2011. Per le graminacee, da 2000 a 11.000. Secondo ISPRA, AIA e Federasma sono però possibili semplici misure preventive a costo zero per ridurre al minimo i pollini, partendo da una migliore progettazione del verde urbano. In futuro si dovranno usare solo piante non allergeniche (come acacie, magnolie o palme). In passato, invece, sono state scelte prevalentemente piante molto allergizzanti. Un esempio? L'Auditorium Parco della Musica di Roma è immerso tra gli ulivi, tra le piante più temute per chi soffre di allergia ai pollini. «Nel corso della sua progettazione non si è tenuto conto del problema – ha commentato Frateiacci – come è accaduto anche nel caso di molte scuole e ospedali». Dove non è possibile sostituire la vegetazione, diventa cruciale la manutenzione dei parchi; con sfalci e potature che precedano la fioritura si ridurrebbero i pollini anche per le piante più allergizzanti. Ultimo fattore strategico, il costante monitoraggio della presenza dei pollini, che permette di capire dove e come operare per ridurre al minimo il problema.

Laura Margottini

NEUROSCIENZE

L'iperattività che deprime

La depressione sarebbe causata da un'attività cerebrale eccessiva



Una persona depressa può credere che il suo cervello funzioni al minimo. In realtà è vero il contrario, come hanno scoperto ricercatori dell'Università della California a Los Angeles, coordinati dallo psichiatra Andrew Leuchter: la causa della depressione potrebbe essere un'eccessiva attività cerebrale. Partendo dalla considerazione che la depressione non è solo mancanza di energia e tristezza, ma anche insonnia, ansia, pensieri ossessivi, Leuchter e colleghi hanno misurato in 121 depressi gravi, la sincronizzazione di attività fra varie aree cerebrali, valutandone durata e intensità rispetto a quella in persone non depresse. Hanno così scoperto, come riportato su «PLoS One», che nei depressi gravi c'è un'eccessiva sincronizzazione fra varie aree del cervello, in particolare della corteccia prefrontale, che fra l'altro regola umore e ragionamento, con altre aree cerebrali.

«Per agire, imparare e stabilizzare l'umore, il cervello deve gestire le proprie connessioni, sincronizzando e desincronizzando il funzionamento di più aree cerebrali. Nei depressi questa seconda funzione sembrerebbe compromessa, e l'incapacità di impedire a più aree cerebrali di funzionare insieme può spiegare alcuni loro sintomi», ha concluso Leuchter.

Alex Saragosa

Neuroanalisi: nuova classificazione per la psichiatria

Chiamare le cose con il loro nome: è l'obiettivo di Avi Peled, direttore del Servizio di psichiatria dell'adulto al Centro di salute mentale «Sha'ar Menashe» di Hadera, in Israele. Peled ritiene che la comunità scientifica dovrebbe cominciare a classificare i disturbi psichiatrici in base alle sottostanti alterazioni cerebrali. Senza una chiara comprensione dei meccanismi causali, gli interventi terapeutici sono destinati a rimanere inefficaci.

Partendo da queste considerazioni e dal modello delle reti neurali, lo psichiatra israeliano ha proposto su «Medical Hypotheses» una riorganizzazione della nosografia psichiatrica che definisce le malattie mentali come disturbi dell'organizzazione cerebrale. Tutte le patologie psichiatriche potrebbero essere ridefinite in base a tre dimensioni fondamentali: la complessità, che fa riferimento alla capacità del cervello di organizzare e bilanciare le sue connessioni, per la quale è cruciale l'attività dei collegamenti nigro-striato-corticali; la resilienza, intesa come plasticità e adattabilità alle dinamiche ambientali, che coinvolge i circuiti talamo-amigdalo-corticali; la costruzione di parametri e configurazioni per le rappresentazioni interne, influenzata dall'attività dell'ippocampo.

Secondo questo modello la schizofrenia e i disturbi psicotici, per esempio, potrebbero essere concettualizzati come disturbi della connettività cerebrale e delle dinamiche gerarchiche dell'elaborazione degli stimoli, mentre la classificazione dei disturbi dell'umore potrebbe fare riferimento all'ottimizzazione e alla gestione dell'energia; i disturbi di personalità, invece, sarebbero riconducibili ad alterazioni dei meccanismi individuali con i quali il nostro cervello interagisce abitualmente con l'ambiente esterno. Peled auspica che questa nuova visione dei disturbi mentali, che chiama «neuroanalisi», possa costituire un ponte tra psicoanalisi, psicologia e neuroscienze e un punto di partenza per interventi terapeutici mirati sugli algoritmi disfunzionali che caratterizzerebbero l'attività cerebrale dei pazienti psichiatrici.

Francesco Cro

Due recettori degli oppioidi in 3D

I farmaci derivati dall'oppio sono gli analgesici più efficaci per il trattamento del dolore acuto e cronico, ma creano anche un'elevata dipendenza. Agiscono su una famiglia di recettori del sistema nervoso, sia centrale che periferico, che comprende quattro sottotipi: mu, delta, kappa e nocicettina. La maggior parte delle sostanze che si legano ai recettori oppioidi interagiscono con più di un sottotipo di recettore, la cui attivazione determina una grande varietà di effetti, tra cui analgesia, sedazione, induzione del sonno, depressione respiratoria,

depressione nervosa centrale, inibizione della motilità gastrointestinale e inibizione del riflesso della tosse.

Ora la struttura tridimensionale di due di questi recettori è stata risolta: scienziati della Stanford University hanno descritto la struttura cristallina del recettore mu, bersaglio molecolare di morfina, codeina e eroina; un gruppo dello Scripps Research Institute ha invece descritto la struttura del recettore kappa (*nell'immagine*), il bersaglio dell'allucinogeno naturale salvinorina A. I risultati di questi due studi, pubblicati su «Nature», dovrebbero facilitare la scoperta di nuovi farmaci altamente selettivi per i diversi sottotipi recettoriali.

Enrico Properzi

Serge Kozak/Corbis (*depressione*); cortesia Yekaterina Kadyshevskaya, PSI Biology GPCR Network, Scripps Research Institute (*recettore kappa*)

ETOLOGIA

Perché andare su due piedi

La necessità di massimizzare il trasporto di cibo con le mani avrebbe favorito il bipedismo

D.L.L.C./Corbis

Ogni lasciata è persa, anche in foresta. Ecco perché quando uno scimpanzè scopre cibo che in genere non trova nel suo habitat ne raccoglie quanto più possibile per farne scorta, usando le mani per trasportarlo e alzandosi in piedi. Ma se fosse stata proprio questa necessità a favorire la selezione del bipedismo negli antenati degli uomini? A sostenere questa tesi è un gruppo di ricerca coordinato da Susana Carvalho, dell'Università di Cambridge, che ha studiato il comportamento di foraggiamento di un gruppo di scimpanzè della foresta di Bossou, in Guinea, in relazione alla diversa disponibilità di cibo.

Come descritto nello studio pubblicato su «Current Biology», i ricercatori hanno dato alle scimmie due tipi di frutti: noci della palma da olio, abbondante in foresta, e noci di cola, assai più rare. Manipolandone le quantità, i ricercatori hanno osservato che in presenza della noce di cola gli scimpanzè adottavano una postura bipede con una frequenza quattro volte maggiore rispetto a quanto accadeva se potevano raccogliere solo la noce della palma da olio. In questo modo, riuscivano a trasportare più del doppio dei frutti del normale. Lo stesso tipo di dato è emerso dalle osservazioni raccolte seguendo un altro gruppo di scimpanzè durante le spedizioni di foraggiamento. Anche in questo caso, infatti, alzarsi in piedi (comportamento rilevato il 35 per cento delle volte) permetteva di trasportare più cibo rispetto a quanto possibile con la locomozione quadrupede. In altre parole, le scimmie sceglievano il bipedismo per ottimizzare costi e benefici legati al trasporto e consumo di risorse rare e per questo preziose.

Gli scimpanzè offrono un modello delle condizioni ecologiche che possono aver spinto i nostri antenati a iniziare a camminare su due gambe, ha spiegato Brian Richmond della George Washington University, altro ricercatore che ha partecipato allo studio. L'ipotesi è che la variabilità nella disponibilità delle risorse alimentari abbia favorito l'emergere di nuovi comportamenti come il bipedismo, e quando questo comportamento si dimostrò efficace per monopolizzare risorse di qualità, allora la selezione deve aver spinto per il suo definitivo affermarsi.

Martina Saporiti

Sequenziato il genoma del gorilla

Richard Durbin e colleghi del Wellcome Trust Sanger Institute hanno sequenziato per la prima volta il genoma di un gorilla di pianura occidentale, una femmina alla quale hanno dato il nome di Kamilah. I gorilla sono la specie più vicina agli esseri umani dopo gli scimpanzè, quindi il risultato di Durbin e colleghi, pubblicato su «Nature», è importante per capire l'evoluzione della nostra specie.

Dopo il sequenziamento, i ricercatori hanno condotto un'analisi comparativa sui genomi di tre primati: esseri umani, scimpanzè e gorilla, che ha riguardato oltre 11.000 geni. I risultati hanno confermato che dal punto di vista genetico lo scimpanzè è il nostro parente più prossimo. In almeno il 30 per cento del genoma, però, gli esseri umani sono più simili al gorilla. Le somiglianze evolutive tra uomo e gorilla, in particolare, riguardano soprattutto geni implicati nello sviluppo cerebrale e nella percezione sensoriale, in particolare quelli coinvolti nel senso dell'udito. Ma questa non è stata l'unica sorpresa dello studio. Sulla base di prove genetiche e fossili, i ricercatori suggeriscono che dal punto di vista evolutivo la separazione tra gorilla ed esseri umani non sia avvenuta in un unico episodio, ma coinvolga un lungo periodo che ha avuto inizio 10 milioni di anni fa.

Enrico Properzi

Le radici intelligenti

Come gli animali, anche le piante si stanno mostrando capaci di comportamenti sociali sofisticati. Stefano Mancuso, direttore del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale di Firenze, lo ribadisce con due lavori su «PLoS One» e «Trends in Plant Science».
Le radici comunicano fra loro con segnali chimici e di altra natura, così da esplorare il suolo in modo coordinato, probabilmente per mantenere la micronicchia ottimale per estrarre i nutrienti e difendersi dai patogeni. Mancuso mostra che, come negli insetti e uccelli sociali, nelle radici del mais l'armonizzazione risulta da un comportamento di sciame: ogni radice segue semplici regole riguardo a velocità e direzione di crescita rispetto alle vicine, così da produrre un intrico all'apparenza casuale ma in realtà coordinato. I segnali che le radici si scambiano, inoltre, includono i suoni.
«Molti animali avvertono le vibrazioni del suolo con strutture diverse dall'orecchio, e non c'è motivo per cui le radici, che ci vivono dentro, non debbano farlo», osserva Mancuso. Infatti, anche se le ricerche sono agli albori, alcuni suoni radicali non sembrano l'effetto casuale di eventi fisiologici, ma emissioni strutturate con frequenze precise; e le radici sembrano rispondere selettivamente a certe frequenze, crescendo verso la fonte del suono. (GiSa)

A un ungherese il «Nobel» per la matematica

Matematica discreta e informatica teorica. Sono i due settori che hanno permesso all'ungherese Endre Szemerédi, della Rutgers University, in New Jersey, e dell'Istituto di matematica «Alfréd Rényi» di Budapest, di ricevere il premio Abel 2012. Annunciato il 21 marzo, questo premio, considerato il «Nobel» per la matematica, sarà consegnato a Szemerédi il 22 maggio a Oslo. Il riconoscimento sottolinea l'importante contributo della matematica fondamentale ai problemi tecnologici attuali.

Il premio Abel, 6 milioni di corone norvegesi (circa 790.000 euro), è assegnato ogni anno dall'Accademia norvegese di scienze e lettere. Szemerédi, allievo del grande matematico ungherese Paul Erdös, ha lavorato soprattutto su calcolo combinatorio e teoria dei numeri. Il suo teorema più importante, dimostrato nel 1975, afferma che ogni sottoinsieme di una sequenza di numeri interi contiene progressioni aritmetiche di lunghezza arbitraria, evidenziando così un certo grado di regolarità nelle sequenze di grandi numeri interi. I lavori di Szemerédi hanno molte applicazioni, dallo sviluppo di algoritmi di ordinamento al calcolo parallelo, fino alla teoria dei grafi e allo studio di sistemi dinamici.

Oltre al suo teorema più famoso, Szemerédi ha infatti pubblicato oltre 200 articoli e, a 71 anni, non sembra dare segni di stanchezza. (MaRa)

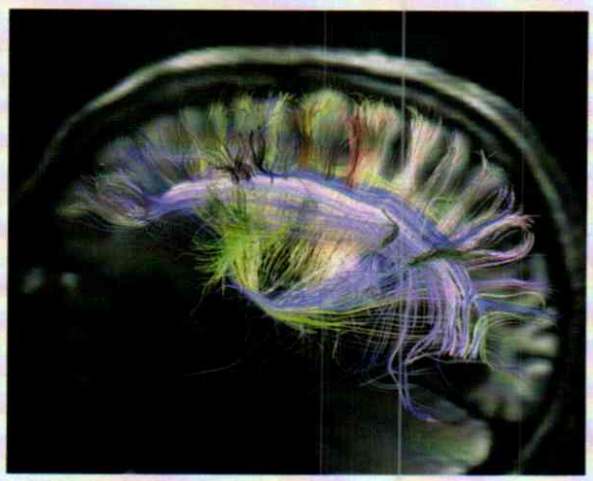
Einstein, in privato

Albert Einstein incarna per molti la figura dello scienziato moderno. Ma chi era l'uomo che si celava dietro il genio di Einstein? Oggi tutti possono scoprirlo, grazie al nuovo archivio *on line* pubblicato e gestito dalla Hebrew University di Gerusalemme.

Il nuovo portale web (http://alberteinstein.info), contiene 7000 pagine di 2000 documenti, utili non solo ai ricercatori, ma anche a chi vuol conoscere meglio il grande scienziato tedesco. Metà dell'archivio era già stata pubblicata nel 2003, e grazie ai finanziamenti della Polonsky Foundation UK, che aveva anche contribuito a digitalizzare l'opera di Isaac Newton, è stato possibile catalogare tutti gli 80.000 documenti di Einstein. Fra articoli scientifici e corrispondenza privata, l'archivio disponibile in rete arriva fino al 1921, anno in cui Einstein ha ricevuto il Nobel per la fisica. Ma la Hebrew University, proprietaria dei documenti, prevede di pubblicare presto altre carte che spingeranno un po' più in avanti nel tempo l'Einstein privato. (MaRa)

La semplice geometria del cervello

La struttura interna del cervello è stata immaginata a lungo come un piatto di spaghetti: un intricato groviglio di fibre nervose. Ora invece la combinazione di un'innovativa tecnica per immagini, la risonanza magnetica a spettro di diffusione, e di un sofisticato metodo di elaborazione matematica ha permesso di capire che la materia bianca, costituita appunto dai prolungamenti dei neuroni, deputati alla trasmissione di informazioni da cellula a cellula, è disposta in modo molto geometrico e ordinato.



Secondo quanto descritto su «Science» da scienziati del Massachusetts General Hospital, le fibre nervose corrono lungo tre piani perpendicolari tra loro (secondo le direzioni alto-basso, sinistra-destra e avanti-indietro). In ciascun piano, le fibre sono a loro volta tutte parallele. Quello che si ottiene è un reticolo curvo 3D, una semplice struttura di base presente nell'uomo e in altri primati che si presta bene a subire importanti modificazioni sia nel corso dell'evoluzione sia durante lo sviluppo di un individuo. (VaMu)

AgStock Images/Corbis (*radici*; cortesia MGH-UCLA Human Connectome Project (*cervello*); Sergey Konenkov/Sygma/Corbis (*Einstein*)

Un grano che resiste alla salinità del suolo

Un gruppo di ricercatori dell'Università di Adelaide ha prodotto una varietà di grano tollerante alla salinità del suolo, una delle principali cause di stress che limitano crescita e produttività delle coltivazioni. Questa innovazione potrebbe essere particolarmente utile nei paesi in via di sviluppo, dove in genere il grano cresce in aree semiaride con un suolo altamente salino.

Come spiegano su «Nature Biotechnology», Matthew Gilliham e colleghi hanno caratterizzato un gene che si trova in una varietà ancestrale di grano tollerante al sale, ma non nelle varietà attualmente in commercio. Questo gene codifica per una proteina che rimuove in modo efficace il sodio dall'acqua che viene trasportata dalle radici alle foglie, migliorando la tolleranza della pianta all'elevata salinità del terreno. I ricercatori hanno poi generato una varietà ibrida di grano incrociando la varietà ancestrale con una commerciale.

Test sul campo hanno dimostrato che nei terreni altamente salini la linea ibrida ottenuta ha una resa superiore fino al 25 per cento rispetto alle varietà non modificate, mentre la produttività nei terreni a bassa concentrazione salina non ne risulta compromessa. Tutto questo dimostra che le biotecnologie possono sfruttare la diversità genetica che si osserva nelle piante selvatiche per migliorare le colture. (EnPr)

Piccole miopie

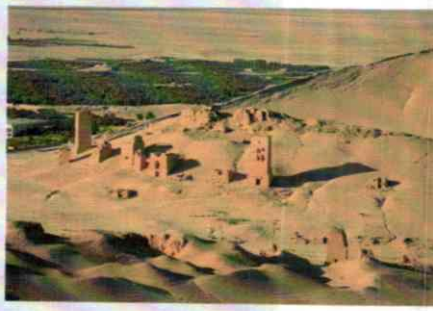
Il 30 per cento dei bambini diventa miope ma, stranamente, nessuno ha mai investigato a fondo questo fenomeno. L'idea più diffusa era che nei bambini miopi il bulbo oculare diventa troppo lungo e il cristallino non riesce più a mettere a fuoco sulla retina gli oggetti lontani.

Un oftalmologo statunitense ha analizzato capacità visiva e crescita dell'occhio in bambini dai 9 mesi ai 9 anni, per scoprire che cosa differenzi quelli che sviluppano miopia, in genere intorno ai 3-4 anni, dagli altri. Così ha scoperto che in tutti i bambini il bulbo si allunga di 3 millimetri in 9 anni, ma mentre nei bambini normali il cristallino si adatta, diventando sempre più sottile, in quelli miopi l'assottigliamento si interrompe e il cristallino resta troppo spesso per mettere a fuoco sul fondo dell'occhio.

L'interruzione nell'adattamento del cristallino è improvvisa e non si sa ancora che cosa la provochi, un'ipotesi è che un eccessivo spessore del muscolo ciliare, che fa contrarre la lente, sia responsabile del blocco nell'assottigliamento. (AlSa)

Siti antichi dallo spazio

Un archeologo della Harvard University, Jason Ur, e un esperto di immagini al computer del MIT, Björn Menze, hanno realizzato un sistema automatico per individuare da satellite i resti di antichi insediamenti umani, come hanno riportato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences».
Le antiche attività antropiche hanno lasciato al suolo tracce peculiari: resti organici ed edifici di fango rendono i suoli più fini e più chiari di quelli non antropizzati. Analizzare le immagini satellitari è difficile



per la grande variabilità data dalle condizioni atmosferiche e stagionali, o anche solo dall'orario o dall'inclinazione del satellite, per cui immagini che l'occhio riconosce simili hanno valori matematici diversi. Addestrando i loro algoritmi con 50 anni di foto satellitari, Ur e Menze hanno però ottenuto un software capace di farlo. Il test su 23.000 chilometri quadrati della Siria ha rivelato 9000 probabili siti, dieci volte più di quelli noti. Quando gli archeologi andranno sul campo, sapranno dove scavare. Così individueranno anche siti più piccoli ed edifici minori, documentando fasce sociali trascurate dalle ricerche, concentrate su grandi centri (*nella foto, Palmira, in Siria*) e grandi palazzi. (GiSa)

Adattarsi al cambiamento climatico: il caso del lago Ciad

Il lago Ciad, che si estende fra Niger, Nigeria, Ciad e Camerun, è un simbolo delle conseguenze del cambiamento climatico: dal 1960 a oggi è passato da 20.000 a 2000 chilometri quadrati di superficie. Questo bacino morente, però, è anche diventato il simbolo della capacità di adattamento degli esseri umani. Lo afferma un gruppo di agronomi e antropologi delle università di Niamey, Maradi e Tahoua in Niger e del francese CNRS con uno studio pubblicato su «Regional Environmental Change» che ha scoperto come le popolazioni di pescatori e allevatori che vivono intorno al lago si siano ricostruite una vita, a volte più agiata della precedente, come agricoltori.
Nella stagione secca, i fertili ex fondali sono coltivati a cereali, legumi e pepe, per l'autoconsumo e i mercati. Quando le nuove terre vengono sommerse, nella stagione delle piogge, gli ex pescatori tornano al loro mestiere originario. Questo stile di vita, hanno concluso i ricercatori, sembra funzionare così bene che forse sarebbe meglio ripensare il progetto di deviare nel Chari, il principale immissario del lago Ciad, le acque dell'Obangi, un affluente del fiume Congo, per far tornare il lago alla superficie originale. La risalita delle acque e la perdita delle variazioni stagionali costringerebbero gli abitanti del lago Ciad a un nuovo, complesso adattamento. (AlSa)

Jason Edwards/National Geographic Society/Corbis (*bambini*); Michele Falzone/JAI/Corbis (*Palmira*); Orjan F. Ellingvag/Dagens Naringsliv/Corbis (*pescatori*)

Carl June è medico e ricercatore alla Perelman School of Medicine dell'Università della Pennsylvania, studia come modificare geneticamente il sistema immunitario per combattere più efficacemente tumori e HIV.

Bruce Levine è un immunologo, studia terapie cellulari e geniche alla Perelman School of Medicine dell'Università della Pennsylvania, dove dirige la Clinical Cell and Vaccine Production Facility.

MEDICINA

Bloccare l'attacco dell'HIV

di Carl June e Bruce Levine

Poco più di tre anni fa un gruppo di medici di Berlino ha pubblicato i risultati di un esperimento che avevano sorpreso i ricercatori impegnati nella lotta all'HIV. I medici tedeschi avevano prelevato il midollo osseo, la fonte delle cellule immunitarie, da un donatore anonimo resistente all'HIV grazie al proprio assetto genetico. In seguito i ricercatori avevano trapiantato le cellule in un uomo con leucemia e da dieci anni positivo all'HIV. Sebbene il trapianto del midollo fosse giustificato dalla cura della leucemia, il gruppo sperava anche di fornire in questo modo una quantità di cellule immunitarie resistenti all'HIV sufficiente a controllare l'infezione. La terapia superò le aspettative dei medici. Invece di ridurre solo la quantità di virus nel sangue del paziente, il trapianto aveva eliminato tutte le tracce rilevabili di HIV dall'organismo, compresi molti tessuti dove avrebbe potuto rimanere dormiente. I ricercatori tedeschi erano rimasti così sorpresi da questi risultati positivi che aspettarono quasi due anni prima di pubblicare i dati.

Le notizie sembravano troppo buone per essere vere. Tuttavia, cinque anni dopo quella cura il cosiddetto paziente di Berlino (che in seguito si rivelò essere Timothy Ray Brown, di San Francisco) non mostra ancora alcun segno della presenza del virus dell'AIDS, nonostante non stia assumendo farmaci antiretrovirali in grado di combattere l'HIV da tutto questo tempo. Degli oltre 40 milioni di persone infettate dall'HIV negli ultimi decenni, fino a oggi Brown è l'unico in grado di dimostrare, prove alla mano, di aver eliminato l'infezione.

Questo approccio non può essere applicato in modo diffuso per diverse ragioni, non ultimo il fatto che, come primo passo, bisogna distruggere il sistema immunitario del paziente, un'iniziativa molto rischiosa. Ma il successo inatteso ha indotto ricercatori di tutto il mondo a cercare metodiche più sicure e meno costose per dare ai pazienti un nuovo sistema immunitario, simile a quello ricevuto da Brown, resistente all'HIV. Un'impresa del genere consentirebbe ai medici di chiudere la porta all'HIV, impedendogli di diffondersi di cellula in cellula nell'organismo. Infine, è probabile che il sistema immunitario modificato sarebbe anche in grado di eliminare qualunque residuo di HIV nascosto in diverse zone del corpo. Invece di proporre passaggi di terapie precedenti che si limitano a sopprimere il virus, un nuovo approccio capace di imitare la cura di Berlino potrebbe, se funzionasse, eliminare il virus e potenzialmente curare la malattia.

Illustrazione di Owen Gildersleeve; fotografia di Sam Hofman

Puzzle da smontare. In genere l'HIV (*tessere rosse in questa illustrazione*) si lega a prolungamenti proteici delle cellule immunitarie (*tessere bianche*). Eliminando questi prolungamenti gli scienziati sperano di rendere le cellule immunitarie resistenti all'HIV.

Una tecnica innovativa in fase di sperimentazione potrebbe impedire l'ingresso dell'HIV nelle cellule del sistema immunitario, tuttavia fino a oggi questo approccio si è dimostrato efficace solo in un paziente

Secondo noi, infatti, si potrebbe sviluppare un metodo più semplice per dare a pazienti affetti da HIV un sistema immunitario come quello alla base del successo terapeutico del paziente di Berlino. La procedura ha mostrato risultati promettenti in laboratorio, e ora stiamo effettuando trial clinici preliminari su un piccolo numero di pazienti infettati dall'HIV. È necessario ancora molto lavoro, e non possiamo essere sicuri che la terapia risulterà efficace, ma il fatto che il paziente di Berlino continui a essere libero dal virus, unito ai risultati preliminari che abbiamo ottenuto, ci fa sperare che la cura che stiamo sviluppando possa davvero migliorare la qualità della vita di milioni di persone sieropositive.

Sintonizzare il sistema immunitario

Il nostro approccio per ingegnerizzare un sistema immunitario per combattere l'HIV si basa su ricerche che riguardano due aspetti fra loro collegati. Gli scienziati dovevano scoprire come aumentare enormemente l'efficacia del sistema immunitario contro l'HIV e dovevano trovare un modo per evitare l'ingresso del virus nelle sue cellule preferite, le cellule CD4+ conosciute anche come linfociti T *helper*, che coordinano l'interazione fra numerosi tipi diversi di cellule immunitarie. Quando all'inizio l'HIV infetta un linfocita T helper non provoca alcun danno reale. Poi però, quando la cellula immunitaria è attivata per combattere un'infezione, produce e diffonde altre copie di HIV. Alla fine l'HIV distrugge anche queste cellule deputate al coordinamento, privando il sistema immunitario della capacità di contrastare molti altri tipi di infezione. In questo modo l'HIV elimina selettivamente le pedine più addestrate dell'immunità. Con il diminuire di queste difese, diminuisce anche la capacità del corpo di combattere le infezioni fino a quando si sviluppa l'AIDS, lo stadio finale caratterizzato da infezioni mortali.

Non è stato facile capire come potenziare il sistema immunitario, per non parlare di come proteggere i linfociti T helper. Tuttavia, quando hanno cominciato a circolare le notizie relative al paziente di Berlino si erano già ottenuti progressi rilevanti su entrambi i fronti, anche se in linee di ricerca separate.

Per anni, sia gli scienziati che studiano il cancro sia quelli che studiano le infezioni virali hanno cercato strategie per potenziare il sistema immunitario, per esempio prelevando linfociti T da un paziente, trattandoli con sostanze che ne aumentano il numero e li rendono più attivi contro il cancro e le infezioni virali e poi iniettando le cellule fortificate nuovamente nel paziente. Noi ci siamo uniti a questa impresa vent'anni fa, quando iniziammo a lavorare al National Naval Medical Center di Bethesda, in Maryland. Sulla base del lavoro di altri colleghi – in particolare Philip Greenberg e Stanley Riddell, del Fred Hutchinson Cancer Research Center di Seattle, e Malcolm Brenner e Cliona Rooney del Baylor College of Medicine di Houston – abbiamo effettuato esperimenti per migliorare la crescita dei linfociti T fuori del corpo. All'epoca, i linfociti T potevano essere coltivati in laboratorio solo usando complesse miscele di messaggeri chimici, o prelevando dal sangue del donatore un altro tipo di cellula immunitaria, la cellula dendritica, che istruisce i linfociti T a maturare e a moltiplicarsi in modo accentuato.

Eravamo convinti di poter semplificare il processo producendo cellule dendritiche artificiali. Servendoci di minuscole sfere magnetiche, leggermente più piccole dei linfociti T, abbiamo agganciato sulla superficie dei linfociti due proteine simili alle molecole che si trovano sulle cellule dendritiche. Quando le abbiamo mescolate con i linfociti T, le biglie si sono mostrate assai efficienti nello svolgere il compito assegnato. Reintegrando le sfere ogni due settimane siamo riusciti a mantenere una colonia di linfociti T attivi e a farli riprodurre per più di due mesi, incrementandone il numero migliaia di miliardi di volte.

Quando abbiamo iniziato a sperimentare questo approccio usando campioni di sangue prelevati da volontari HIV-positivi abbiamo scoperto con stupore che i linfociti T da noi prodotti avevano una considerevole, sebbene temporanea, capacità di ostacolare l'avanzamento dell'HIV. Abbiamo pubblicato i nostri risultati nel giugno 1996, non sapendo ancora perché il nostro metodo a base di sfere magnetiche per far crescere i linfociti T ne potenziasse la resistenza all'HIV. Ma durante quell'anno è emerso un importante indizio che avrebbe contribuito a risolvere il mistero.

Una porta per l'infezione

Nello stesso periodo in cui stavamo sviluppando il nostro sistema per far crescere i linfociti T, altri ricercatori avevano scoperto un punto debole fondamentale nella strategia di attacco dell'HIV. Durante le primissime fasi dell'epidemia di AIDS, gli scienziati avevano identificato un piccolo numero di individui che sembravano estremamente resistenti all'infezione da HIV, sebbene fossero stati esposti diverse volte al virus. Verso fine 1996, in una frenetica corsa alla pubblicazione, diversi laboratori avevano riportato che una particolare proteina che si trova sulla superficie dei linfociti T helper e su altre cellule, ed è chiamata CCR5, agiva come porta d'ingresso, consentendo all'HIV di penetrare nella cellula. Inoltre i ricercatori avevano dimostrato che alcune persone fisiologicamente prive di quella particolare proteina non venivano infettate (si veda *In cerca dei geni della resistenza all'AIDS* di Stephen J. O'Brien e Michael Dean, in «Le Scienze» n. 351, novembre 1997).

La mancanza di questa porta è dovuta alla delezione di 32 nucleotidi (le lettere A, T, C e G dell'alfabeto del DNA) nel gene che codifica per questa proteina di membrana. La delezione porta a una proteina CCR5 più corta del normale, che non è in grado di dirigersi verso la superficie cellulare. Circa l'1 per cento della popolazione caucasica ha ereditato due copie di questo gene difettoso, chiamato *CCR5-Delta32*, che rende le loro cellule altamente resistenti all'infezione da HIV. La mutazione, tuttavia, è rara nei nativi americani, negli asiatici e negli africani. A parte la loro peculiarità genetica, gli individui portatori della delezione sembrano sani, sebbene possano essere più vulnerabili al West Nile virus.

Le persone che hanno ereditato solo una copia del gene *CCR5-Delta32* sono suscettibili all'HIV, ma nel loro caso in media l'infezione impiega più tempo per progredire dalle fasi iniziali a stadi più avanzati. I ricercatori hanno dimostrato che alcuni messaggeri naturali chiamati beta-chemochine sono in grado di bloccare un

IN BREVE

L'HIV sfrutta una proteina chiamata CCR5, che si trova sulla superficie di alcune cellule immunitarie, per infettare quelle cellule.

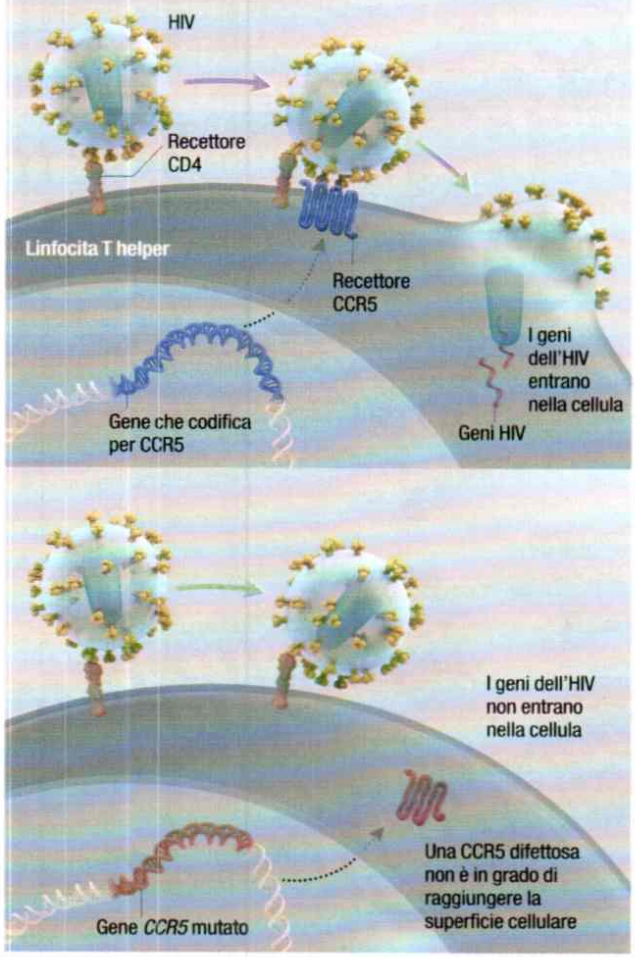
Alcune persone hanno ereditato una mutazione che inattiva le loro copie della proteina CCR5, offrendo quindi una maggiore protezione contro l'infezione da HIV.

I ricercatori stanno sperimentando tecniche di ingegneria genetica per modificare le cellule immunitarie in modo da privarle della proteina CCR5, rendendole così resistenti all'infezione.

I risultati preliminari ottenuti da studi con cui valutare la sicurezza di questo metodo negli esseri umani sono incoraggianti, ma c'è ancora molta strada da fare.

Come l'HIV entra in una cellula immunitaria

L'HIV distrugge il sistema immunitario puntando alcune cellule chiave, i linfociti T helper. Negli anni novanta gli scienziati hanno capito che il virus penetra in queste cellule aderendo a una proteina, chiamata CCR5, che si trova sulla superficie cellulare (*qui sotto*). Tuttavia solo un numero esiguo di persone è in grado di opporsi all'infezione da HIV, perché sono prive del gene che codifica per CCR5. I ricercatori sperano che disattivare il gene *CCR5* (*in basso*) in individui positivi ai test per l'HIV permetta di controllare meglio, e forse anche di sconfiggere, l'infezione.



recettore CCR5 normale, impedendo l'accesso all'HIV. In effetti, il blocco del recettore CCR5 è alla base di una classe di farmaci antiretrovirali. Purtroppo è difficile mantenere coperti da farmaco tutti i recettori CCR5 di tutte le cellule, in modo da impedire all'HIV di entrare. Inoltre l'HIV può mutare per evitare il blocco e le particelle virali leggermente modificate sono ancora in grado di usare CCR5 come ingresso nei linfociti T.

La scoperta del ruolo di CCR5 nell'infezione da HIV ha contribuito a spiegare perché i nostri linfociti T cresciuti in modo artificiale si dimostravano resistenti. In qualche modo l'attivazione dei linfociti da parte delle sfere induceva le cellule a interrompere la produzione di CCR5: privato di un ingresso preferenziale, l'HIV era incapace di entrare nelle cellule.

A quel punto ci siamo chiesti se avremmo potuto usato la scoperta di CCR5 insieme al nostro metodo di crescita dei linfociti T per creare una nuova cura contro l'HIV. Questa idea ha portato a collaborare con Kristen Hege e Dale Ando, di Cell Genesys, azienda di biotecnologie con sede a San Francisco, per trial clinici su esseri umani. Questi trial dovevano accertare la sicurezza dei linfociti T che erano stati geneticamente modificati per trovare e attaccare cellule infettate dall'HIV, linfociti che erano stati moltiplicati usando la nostra tecnica con sfere magnetiche. Le cellule si sono dimostrate sicure, e sono sopravvissute per anni dopo l'infusione. La modificazione genetica da noi studiata, però, aveva solo un modesto effetto sulla replicazione dell'HIV nei pazienti. Alla fine Cell Genesys ha deciso di interrompere questa linea di ricerca.

Ottenere una cellula resistente

Nel 2004, alcuni anni dopo il nostro trasferimento all'Università della Pennsylvania, Ando è venuto a trovarci per proporre un secondo esperimento. La nuova azienda per cui lavorava, Sangamo BioSciences, aveva sviluppato una tecnica per tagliare i filamenti di DNA in punti accuratamente selezionati. Questo metodo era diverso e molto più efficace rispetto ad altri, dato che mirava a una specifica sequenza genetica da correggere. In precedenza i ricercatori non disponevano di alcun metodo efficiente per controllare quali geni, o sezioni di geni, fossero cambiati.

La tecnologia di Sangamo si basava su due tipi di proteine usate per eliminare una sezione di un gene già presente. Il primo tipo è costituito dalle cosiddette «dita di zinco» (*zinc finger*), proteine prodotte naturalmente che si legano al DNA durante la trascrizione genica, il processo con cui l'informazione contenuta nel DNA è convertita in una molecola di RNA, necessaria per la sintesi di una proteina codificata. Gli esseri umani producono approssimativamente 2500 dita di zinco diverse e ciascuna si lega a una specifica sequenza nucleotidica su una molecola di DNA.

Nel corso di anni, gli scienziati avevano progettato un modo per elaborare e costruire artificialmente proteine «dita di zinco» in grado di attaccarsi a qualsiasi sequenza di DNA di particolare interesse come, per esempio, una sezione del gene *CCR5*. Ando aveva proposto la progettazione di un insieme personalizzato di forbici di DNA da parte della Sangamo, realizzando come primo passo dita di zinco che si sarebbero dovute legare a entrambe le estremità della sequenza che si voleva eliminare. In seguito, a ciascuna di queste proteine gli scienziati di Sangamo avrebbero aggiunto una seconda proteina, un enzima chiamato nucleasi, capace di tagliare i filamenti di DNA in due parti. La parte dita di zinco di questo complesso avrebbe identificato le sezioni di DNA da tagliare, e la nucleasi avrebbe tagliato il materiale genetico. Sviluppando le coppie corrette di queste dita, l'azienda sarebbe stata in grado di mirare proprio alla particolare sezione del gene *CCR5* a cui eravamo interessati, senza danneggiare altri geni.

Una volta formato un legame tra queste particolari nucleasi con dita di zinco e la sequenza di DNA di interesse, il meccanismo di riparazione cellulare avrebbe preso il controllo della situazione. Avrebbe riconosciuto il punto di rottura e riunito i pezzi danneggiati di DNA, distruggendo alcuni nucleotidi o aggiungendone di nuovi. Così il processo di riparazione avrebbe contribuito ad assicurare ulteriormente che il gene tagliato fosse incapace di portare a una copia funzionante della proteina CCR5.

Dopo che Ando se ne era andato, uno di noi (June, di norma as-

Anatomy Blue

sai ottimista) si era voltato verso l'altro e aveva detto: «È probabile che possa funzionare!». Comunque valeva la pena di tentare. Oltre a essere molto specifico per la delezione CCR5, il sistema era interessante perché le proteine hanno bisogno di poco tempo per funzionare e non lasciano tracce residue nella cellula.

Speranze da Berlino

Avevamo già ricevuto il permesso della Food and Drug Administration e dei National Institutes of Health per avviare gli studi di sicurezza sull'uomo quando abbiamo saputo che il trattamento del paziente di Berlino era apparentemente riuscito, fornendoci una ragione in più per pensare che l'infusione nei pazienti di linfociti T con geni *CCR5* mutati avrebbe potuto infliggere un colpo significativo all'HIV. In particolare Gero Hütter e colleghi affermavano di essere riusciti a effettuare quello che forse era l'esperimento «della vita». Uno dei loro pazienti, che da dieci anni era positivo all'HIV e rispondeva bene ai farmaci antivirali, aveva sviluppato una leucemia mieloide acuta non collegata all'infezione da HIV. Si era sottoposto a chemioterapia, ma il tumore non era stato sconfitto. Senza un trapianto di midollo osseo, procedura in cui il sistema immunitario di una persona (inclusi i linfociti T) è sostanzialmente ricreato in un'altra persona, sarebbe morto.

Hütter aveva analizzato la banca dati europea dei potenziali donatori di midollo osseo, alla ricerca di qualcuno i cui marcatori HLA corrispondessero a quelli del paziente, dato che le HLA (*human leukocyte antigen*) sono un gruppo di proteine che il sistema immunitario usa per distinguere i propri tessuti da quelli di estranei. La corrispondenza di HLA tra donatore e ricevente è vitale per il trapiantato, perché impedisce che le cellule trapiantate considerino il nuovo ospite come estraneo e ne aggrediscano i tessuti (una patologia conosciuta come malattia del trapianto contro l'ospite) e per prevenire il rigetto da parte di qualsiasi componente residua del sistema immunitario precedente del paziente.

Hütter però non si era fermato qui. Sperava di trovare qualcuno con i marcatori HLA adatti, le cui cellule fossero anche portatrici naturali di due copie della mutazione *CCR5-Delta32*. Un trapianto di midollo osseo da una persona del genere avrebbe potuto fornire a un ricevente HIV-positivo un nuovo sistema immunitario resistente a un virus che continua a essere in circolazione.

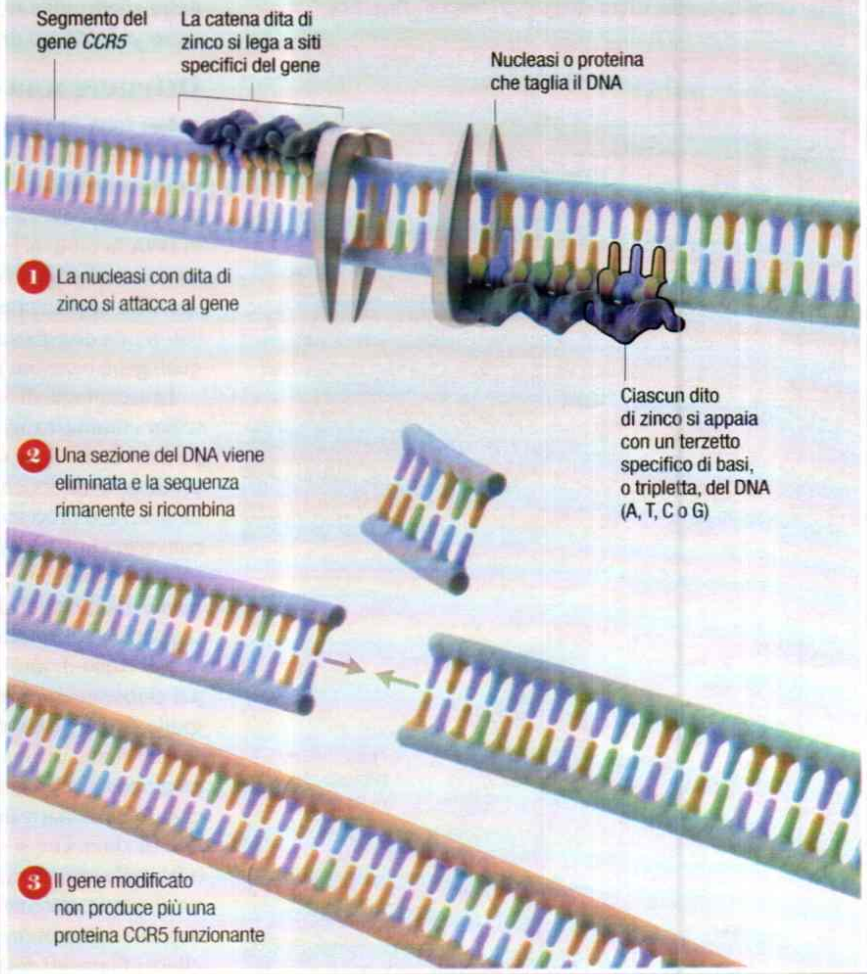
Sorprendentemente, dopo aver cercato nella banca dati e aver testato i geni da oltre 60 potenziali donatori, Hütter aveva trovato un candidato. (La ricerca era stata complicata dal fatto che la regione HLA varia tantissimo da individuo a individuo e che i geni per HLA e CCR5 si trovano su cromosomi diversi). Questa scoperta è stata un colpo di fortuna se si considera che c'è un numero davvero esiguo di persone con la mutazione *CCR5-Delta32* in entrambe le copie del loro gene *CCR5*. Per fortuna il paziente di Berlino aveva anche un assetto HLA assai comune. (Per dare un'idea della rarità della combinazione, basti dire che altri ricercatori in tutto il mondo hanno cercato di replicare l'esperimento tedesco, ma devono ancora trovare un individuo con l'assetto corretto di marcatori HLA e mutazioni in *CCR5*).

Alla fine il paziente di Berlino ha avuto bisogno di due trapianti di midollo osseo dal donatore per curare la sua leucemia. Incredibilmente, cinque anni dopo il trapianto e in continua assenza di terapie a base di farmaci antiretrovirali, i medici non hanno rilevato HIV nel suo sangue, fegato, intestino, cervello, tessuto linfatico

TAGLIA E INCOLLA

Un'attenta modifica disattiva un gene chiave

Alcuni individui potrebbero sviluppare resistenza all'HIV grazie all'inattivazione del gene che codifica per CCR5 con un paio di proteine su misura chiamate «nucleasi con dita di zinco». La porzione dita di zinco di ciascuna proteina si lega su specifici punti del gene, mentre la nucleasi taglia il filamento di DNA in tre pezzi. A quel punto intervengono i meccanismi di riparazione dell'organismo, che uniscono i frammenti più lunghi. Il risultato è che il gene interrotto non produce più la proteina CCR5 usata dall'HIV per entrare nelle cellule immunitarie.



o plasma, usando i test molecolari più sensibili a disposizione. Nessuno sa se l'HIV sia stato effettivamente eliminato da tutti i tessuti dell'organismo del paziente di Berlino, ottenendo quella che è definita una «cura sterilizzante», perché l'HIV può inserire i suoi geni nei cromosomi di diverse cellule (si veda *È possibile guarire l'infezione da HIV*, di Mario Stevenson, in «Le Scienze» n. 485, gennaio 2009), restando in una condizione di latenza per molti anni. Non si sa neppure se sia necessario distruggere tutto l'HIV nel suo corpo, se il sistema immunitario ora è capace di affrontare qualsiasi infezione che possa riemergere, ciò significa che il paziente è «funzionalmente guarito». In ogni caso non deve più assumere farmaci antiretrovirali ed è negativo ai test del virus. (Naturalmente deve ancora prendere farmaci per il trapianto).

L'esperimento tedesco sembra però sia l'unico esempio di terapia per l'HIV a base di midollo osseo per i prossimi anni. Non solo perché è difficile trovare la giusta combinazione di HLA e mutazioni genetiche nel donatore e nel ricevente, ma anche perché questo approccio è costoso (nel nostro ospedale i trapianti di midollo costano almeno 250.000 dollari), richiede un regime intensivo di chemioterapia e prevede un trapianto rischioso e un regime di farmaci antirigetto che dura per tutta la vita. In effetti il paziente di Berlino ha scambiato una serie di problemi, infezione da HIV e leucemia, con un'altra: essere il ricevente di un trapianto. La maggior parte delle persone in grado di vivere un'esistenza più o meno in salute con farmaci anti-HIV – sebbene con significativi effetti collaterali e costi prolungati – esiterebbe se dovesse scegliere uno scambio simile. Il paziente di Berlino però non aveva scelta, dato che aveva sviluppato una leucemia mortale.

Il paziente di Berlino ha dimostrato che è possibile pensare a una terapia per l'HIV senza farmaci

Sebbene fossimo incoraggiati dalle scoperte di Berlino, sapevamo anche che la delezione *CCR5* nel sistema immunitario del donatore poteva non essere l'unica ragione dell'apparente assenza di HIV nel paziente. Forse la riserva di particelle virali dormienti si era esaurita durante gli anni di cure con antiretrovirali. O forse il paziente non aveva alcuna particella residua di HIV in circolo, dopo che il suo sistema immunitario originario era stato distrutto nella preparazione al trapianto. O forse l'episodio di rigetto di cui il paziente aveva sofferto durante la cura aveva anche distrutto ogni cellula infetta che rimaneva prima che la reazione fosse tenuta sotto controllo con i farmaci. (Nessuna corrispondenza di HLA è perfetta al 100 per cento, a eccezione dei gemelli omozigoti). Tuttavia la delezione *CCR5* era la spiegazione più probabile del successo del trapianto, così abbiamo continuato gli esperimenti.

Trial clinici in corso

Quando la notizia del paziente di Berlino era iniziata a circolare, Sangamo aveva sviluppato un set di nucleasi con dita di zinco che riconoscevano come bersaglio un punto vicino alla sequenza chiave di 32 nucleotidi di *CCR5*. (L'obiettivo era inattivare il gene, quindi non era importante riprodurre la mutazione spontanea, era sufficiente che la proteina risultante non funzionasse più). Con Elena Perez, una ricercatrice del nostro laboratorio, avevamo dimostrato che l'infezione da HIV poteva addirittura aiutare il processo di rimodellamento del sistema immunitario per renderlo più resistente al virus dell'AIDS. I nostri esperimenti dimostravano che quando all'inizio in coltura c'erano piccole quantità di linfociti T con geni *CCR5* inattivati dalle nucleasi con dita di zinco, le cellule modificate erano in grado di rigenerare e stabilizzare la popolazione di linfociti T dopo l'esposizione all'HIV. Invece i linfociti T non modificati erano distrutti dall'HIV. In altre parole, l'HIV uccideva i linfociti T vulnerabili, risparmiando sempre più linfociti T privi di CCR5, proprio il tipo di cellula resistente all'HIV che può svolgere la funzione di cellula immunitaria e proteggere dalle infezioni.

I nostri risultati preliminari, ottenuti in un trial clinico con cui valutare la sicurezza sull'uomo, sono stati incoraggianti. Sotto la guida di Pablo Tebas, medico che conduce il trial a Philadelphia, nell'estate 2009 il primo paziente ha ricevuto un'infusione di linfociti T modificati in *CCR5*. Da allora abbiamo trattato altri 11 volontari positivi all'HIV in uno studio sponsorizzato dai National Institutes of Health, e anche Sangamo sta conducendo un trial simile. Questi studi non devono dimostrare l'efficacia del trattamento, tuttavia abbiamo osservato che il numero di linfociti T helper nei test ematici è aumentato rispetto ai valori minimi in tutti i pazienti. È un segnale del fatto che probabilmente il trattamento sta proteggendo i linfociti T. Inoltre, linfociti T helper senza recettore CCR5 funzionante sono stati rilevati nel tessuto linfatico degli intestini e nel sangue. (Queste cellule potrebbero essere derivate solo dalle cellule reimpiantate, modificate dalle nucleasi dita di zinco).

Il passo successivo sarà testare l'abilità del sistema immunitario modificato nel combattere l'HIV già presente nell'organismo. Per farlo stiamo seguendo una strategia che può preoccupare, sebbene sia ampiamente accettata. Abbiamo pianificato l'interruzione della somministrazione di farmaci anti-HIV ai nostri volontari, che comunque saranno monitorati dai medici per vedere che cosa succede. Quando lo abbiamo fatto per 12 settimane con un nostro paziente che aveva ereditato un singolo gene *CCR5-Delta32* e dunque aveva un piccolo vantaggio, alla conclusione del periodo di interruzione non abbiamo trovato prove della presenza del virus nel sangue o nei tessuti linfatici. I pazienti trattati più di recente sono a metà del regime post-infusione e del *follow-up*, dato che le visite saranno completate il prossimo anno. Sono previsti ulteriori trial clinici per testare l'efficacia di questa tecnica. Se alla fine avremo successo, l'approccio con le nucleasi dita di zinco potrebbe essere assai meno costoso del trapianto di midollo osseo con la rara forma deficitaria di *CCR5* e di una terapia farmacologica che duri tutta la vita.

Pochi anni fa non osavamo nemmeno sognare lo sviluppo di terapie sicure, efficaci e meno costose per un controllo a lungo termine dell'HIV senza farmaci. Anche se le nostre nucleasi modellate sul paziente non sono una cura, negli ultimi trent'anni non siamo mai stati così vicino a chiudere la porta all'HIV. ■

PER APPROFONDIRE

Establishment of HIV-1 Resistance in CD4+ T Cells by Genome Editing Using Zinc-Finger Nucleases. Perez E.E. e altri, in «Nature Biotechnology», Vol. 26, pp. 808-816, 2008.

Long-Term Control of HIV by CCR5 Delta32/Delta32 Stem-Cell Transplantation. Hütter G. e altri, in «New England Journal of Medicine», Vol. 360, n. 7, pp. 692-698, 12 febbraio 2009.

Chemokine Receptor 5 Knockout Strategies. Cannon P. e June C., in «Current Opinions in HIV and AIDS», Vol. 6, n. 1, pp. 74-79, gennaio 2011.

The Man Who Had HIV and Now Does Not. Rosenberg T., in «New York Magazine», 29 maggio 2011.

Associazioni professionali per terapie cellulari e genetiche: American Society of Gene and Cell Therapy (**www.asgt.org**) e International Society for Cellular Therapy (**www.celltherapysociety.org**).

ASTROFISICA

Il futuro remoto delle stelle

I giorni migliori dell'universo sono passati, ma il futuro riserverà parecchie sorprese. Tra migliaia di miliardi di anni si verificheranno fenomeni celesti di tipo nuovo

di Donald Goldsmith

Kenn Brown/Mondolithic Studios

IN BREVE

Sebbene l'epoca maestosa della formazione di stelle e galassie sia terminata, l'universo è ancora dinamico e ricco di energia. In futuro le stelle cambieranno aspetto con il variare della loro composizione; le stelle doppie e i sistemi planetari si disintegreranno; oggetti celesti che oggi sono rari, come le nane bianche di elio, diventeranno comuni.

Per certi aspetti, l'universo futuro potrebbe essere più adatto a ospitare forme di vita rispetto a quello attuale. **Considerare il futuro lontano** del cosmo non è solo interessante di per sé, ma è anche un banco di prova intellettuale per gli astrofisici, un modo per consentire loro di approfondire le implicazioni di teorie e osservazioni.

Donald Goldsmith si è laureato in astronomia all'Università della California a Berkeley nel 1969 ed è stato consulente per la serie *Cosmos* di Carl Sagan. È stato sceneggiatore per programmi quali *Is Anybody Out Here?* e la serie *The Astronomers*.

Il cammino apparentemente inesorabile del tempo ha sempre suscitato interesse e speculazioni sul lontano futuro del cosmo. In genere lo scenario tratteggiato è cupo. Fra 5 miliardi di anni il Sole si espanderà, trasformandosi in una gigante rossa, e inghiottirà il sistema solare interno prima di spegnersi lentamente. Ma questo arco di tempo riguarda solo una parte molto piccola, anzi infinitesima, del futuro. Guardando in avanti, come ha fatto lo scrittore umorista Douglas Adams nel libro *Ristorante al termine dell'universo*, «fra 576.000 milioni di anni» gli astronomi osserverebbero un cosmo caratterizzato da lente estinzioni nel nulla. A quell'epoca, l'espansione accelerata dello spazio avrà già fatto sparire alla nostra vista tutto quello che si trova all'esterno della Via Lattea, lasciando il cielo notturno sempre più vuoto. Lord Byron evocò l'immagine di una simile desolazione celeste nel suo poema *Darkness*, del 1816: «*The bright sun was extinguish'd, and the stars/Did wander darkling in the eternal space*». («Il Sole radioso si era spento, e le stelle/vagavano oscurandosi nello spazio eterno».)

Ma non mancano le buone notizie: l'imminente oscurità è solo una parte della storia. Sebbene l'epoca più grandiosa della formazione stellare sia effettivamente terminata, l'universo non ha esaurito le proprie potenzialità. Nuove e strane creature entreranno nello zoo degli astronomi. Fenomeni straordinari, che oggi avvengono raramente, o sono addirittura assenti, diventeranno ordinari. E le condizioni cosmiche favorevoli allo sviluppo della vita potrebbero addirittura essere più frequenti.

L'escatologia scientifica – lo studio del lontano futuro – ha una storia illustre in cosmologia e fisica. Affascinante di per sé, offre un banco di prova concettuale per nuove teorie e l'opportunità di rendere più comprensibili concetti astratti. Uno fra i più astratti di questi concetti, la forma dello spazio, può rivelarsi relativamente semplice da afferrare quando i cosmologi descrivono che cosa implica per il destino dell'universo. I fisici che tentano di riconciliare le loro teorie sulle particelle e le forze fondamentali postulano processi che avverranno solo fra migliaia di miliardi di anni o più, come il decadimento dei protoni e l'evaporazione dei buchi neri. Anche gli astrofisici tengono sempre più conto del lontano futuro nei modelli dell'evoluzione stellare e galattica. Durante lo scorso decennio hanno tentato di ricostruire i modi in cui la formazione e la composizione di stelle e galassie è cambiata a partire dal big bang. Ora la conoscenza sempre più dettagliata del passato permette loro di estrapolare le tendenze del lontano futuro.

Qualcuno non ha spento

Uno dei pionieri nello studio di queste tematiche è Greg Laughlin, un esperto di formazione stellare che lavora all'Università della California a Santa Cruz. Durante gli studi per il dottorato aveva ideato un programma per calcolare l'evoluzione delle stelle di massa estremamente ridotta, ma aveva dimenticato di inserire un comando che concludesse l'elaborazione una volta raggiunta l'età attuale dell'universo. Senza alcun controllo, il programma aveva continuato a girare e a produrre previsioni per migliaia di miliardi di anni nel futuro: tutte sbagliate, come si è poi verificato in seguito, ma abbastanza interessanti perché il giovane scienziato si appassionasse a questo argomento.

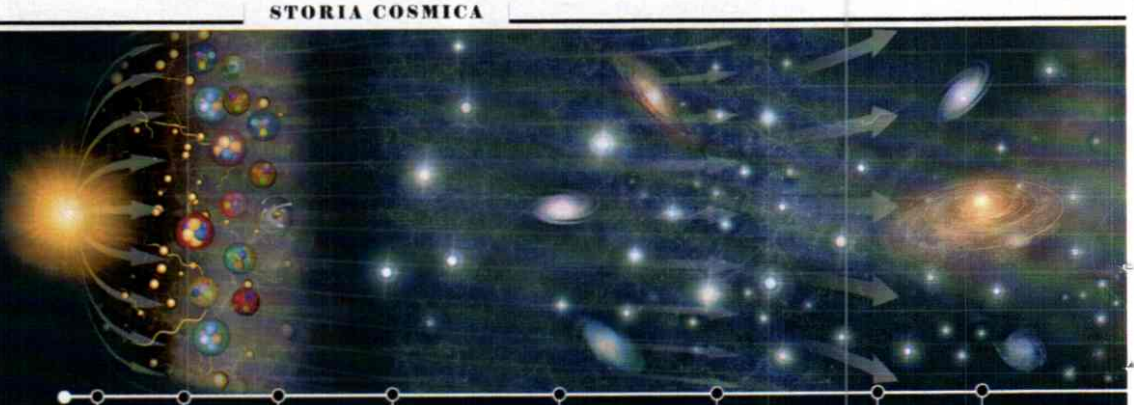
Per conoscere il futuro delle stelle è necessario sapere come si formano. Gli astri nascono all'interno di nubi interstellari di gas e

Illustrazioni di Malcolm Godwin

STORIA COSMICA

Dall'alba al tramonto

Dopo gli eventi tumultuosi che ne hanno caratterizzato la nascita, oggi l'universo evolve più lentamente. Le stelle continueranno a formarsi per altri 100.000 miliardi di anni circa (più o meno 10.000 volte l'età attuale dell'universo); c'è quindi tempo in abbondanza per l'emergere di fenomeni cosmici a lenta evoluzione.



L'asse del tempo non è in scala

polvere di massa compresa tra centinaia di migliaia e parecchi milioni di masse solari. Queste *nursery* stellari, diffuse in tutta la Via Lattea, hanno dato origine alle centinaia di miliardi di stelle della nostra galassia e ne genereranno altre decine di miliardi. Questo successo, però, è poco sostenibile: la materia prima per la genesi di nuove stelle è destinata a esaurirsi. Le esplosioni di supernova che segnano la fine di alcune stelle massicce restituiscono materia allo spazio interstellare e le galassie possono attrarre gas dallo spazio intergalattico, ma questa nuova materia non può sostituire tutto il gas catturato dalle stelle. Attualmente, il gas interstellare contenuto nella nostra galassia è pari solo a un decimo circa della massa totale delle stelle.

Oggi la velocità di formazione stellare nella Via Lattea è quasi di una massa solare all'anno, ma al suo picco, 8-10 miliardi di anni fa, era almeno dieci volte maggiore. Laughlin stima che la velocità di formazione stellare diminuisca approssimativamente di un fattore dieci per ogni fattore dieci del tempo, quindi fra 100 miliardi di anni sarà pari a un decimo di quella attuale e fra 1000 miliardi di anni si sarà ridotta ad appena un centesimo di questo valore.

Detto ciò, alcuni eventi di grande portata potranno influire sulla marcia costante verso l'oscurità stellare. Gli abitanti della Via Lattea, per esempio, dovranno affrontare presto – vale a dire tra qualche miliardo di anni – l'arrivo inesorabile del sistema di Andromeda, la più vicina tra le galassie giganti a spirale. Le dense regioni centrali delle due galassie si scontreranno o cominceranno a orbitare intorno al centro di massa in comune: dalla loro interazione nascerà «Lattomeda». Agitando e rimescolando gas e polvere interstellare, la creazione di Lattomeda darà temporaneamente nuovo vigore al processo di nascita delle stelle, innescando quello che gli astronomi chiamano *starburst*, ovvero un violento processo di formazione stellare. Una volta conclusa questa fase, il sistema unificato diventerà molto simile a una galassia ellittica, un oggetto con una bassa densità di materia prima e quindi una bassa velocità di formazione stellare.

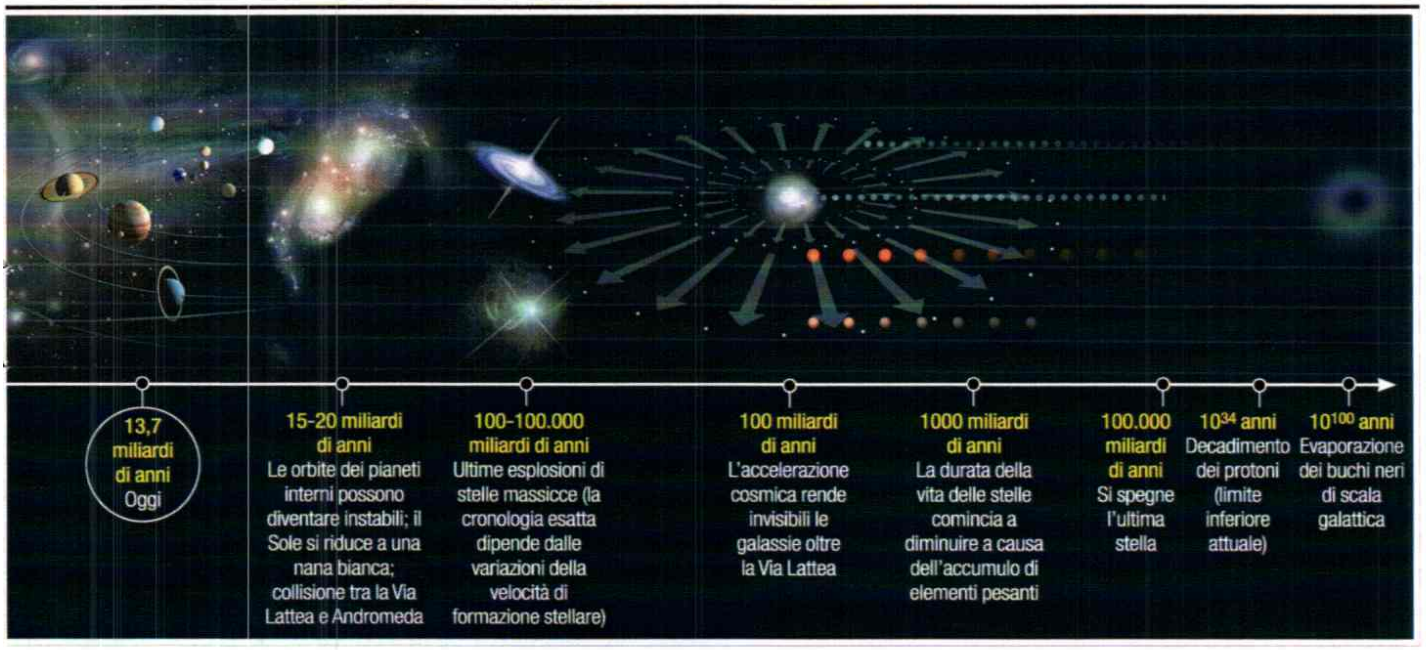
Oltre a nascere in minor numero, le stelle del futuro mostreranno gli effetti dei cambiamenti nella composizione della loro materia prima. Nella fornace rovente del big bang sono stati creati idrogeno, elio e litio. Tutto gli elementi più pesanti sono stati sintetizzati dalle stelle, tipicamente nelle fasi avanzate della loro vita: o all'interno delle giganti rosse, che invecchiando espellono i loro strati esterni, o durante le esplosioni di supernova. Le giganti rosse producono la maggior parte degli elementi più leggeri e abbondanti, come carbonio, azoto e ossigeno, mentre nelle supernove è sintetizzata un'ampia gamma di elementi di peso atomico maggiore, fino all'uranio. Tutti entrano a far parte della miscela del gas interstellare, permettendo alle generazioni stellari successive di cominciare la propria esistenza con un contenuto più elevato di questi elementi.

Il Sole, una stella relativamente giovane, con i suoi 5 miliardi di anni di età, ha un'abbondanza di elementi pesanti 100 volte superiore a quella delle stelle che si formarono oltre 10 miliardi di anni fa; in effetti, alcune delle stelle più antiche sono quasi prive di elementi pesanti. Le future generazioni stellari saranno ancora più arricchite di questi elementi, il che ne altererà sia l'aspetto sia il funzionamento.

Nuove culle per la vita

La crescita costante dell'abbondanza di elementi pesanti nelle nuove stelle provoca due effetti rilevabili. Innanzitutto aumenta l'opacità degli strati esterni della stella. Idrogeno ed elio sono quasi trasparenti, ma anche una piccola quantità di elementi pesanti cattura la radiazione, riducendo la luminosità dell'astro. L'equilibrio delle forze all'interno della stella cambia, perché la minore luminosità comporta un consumo più lento della riserva di combustibile nucleare. Se questo fosse l'unico effetto, una stella ricca di elementi pesanti sarebbe più longeva di una con la stessa massa, ma con un contenuto minore di questi elementi. C'è però un secondo effetto, che si oppone al primo: dal punto di vista delle reazioni nucleari gli elementi pesanti sono, letteralmente, un peso morto. Dato che non partecipano al processo di fusione, riducono la quantità di combustibile utilizzabile da una stella di una data massa e tendono ad abbreviarne la vita.

Laughlin e il suo collega Fred Adams dell'Università del Michigan hanno iniziato a studiare questi due effetti nel 1997. Secondo i risultati dei loro calcoli, il primo effetto sarà predominante per



i prossimi 1000 miliardi di anni circa: l'aumento del contenuto di elementi pesanti renderà più opache e più longeve le nuove stelle. A un certo punto, però, gli elementi pesanti costituiranno una frazione significativa della massa e cominceranno ad abbreviare la vita delle stelle. Il punto di svolta si avrà quando la frazione di elementi pesanti in una nuova stella raggiungerà un valore circa quattro volte quello attuale.

L'arricchimento in elementi molto pesanti dovrebbe favorire anche la nascita di pianeti intorno alle nuove stelle e quindi migliorare le prospettive della vita nell'universo. Gli astronomi hanno misurato l'abbondanza di vari elementi in stelle attorno alle quali fino a oggi sono stati scoperti oltre 700 pianeti di tipo gioviano. I risultati mostrano che le stelle più ricche di elementi pesanti hanno più probabilità di avere uno o più pianeti giganti in orbita. «I pianeti di tipo gioviano mostrano una correlazione precisa con l'abbondanza degli elementi pesanti», afferma John Johnson, esperto di pianeti extrasolari al California Institute of Technology. «E dato che il mezzo interstellare si arricchisce in modo costante di questi elementi, probabilmente la formazione di pianeti è destinata a diventare più frequente».

Che dire dei pianeti di tipo terrestre? Sebbene i telescopi spaziali comincino solo ora a ottenere dati confrontabili per i pianeti più piccoli, anche la formazione di questi pianeti dovrebbe essere collegata all'abbondanza di elementi pesanti della loro stella, tanto più che i pianeti di tipo terrestre sono costituiti quasi interamente da questi elementi. In altre parole, l'universo del lontano futuro dovrebbe essere ricco di pianeti. Nonostante la diminuzione del tasso di formazione stellare, forse metà o due terzi dei pianeti del futuro devono ancora nascere.

A prima vista, la proliferazione di pianeti non sembra promettente per lo sviluppo di forme di vita. La maggior parte delle stelle del futuro sarà assai meno massiccia e luminosa del Sole. Fortunatamente anche una stella debole e di piccola massa può consentire alla vita di prosperare. Una stella di luminosità pari appena a un millesimo di quella solare è in grado di mantenere su un pianeta molto vicino una temperatura che permette la formazione di liquidi, soddisfacendo quello che sembra un requisito fondamentale per l'esistenza di forme di vita.

I pianeti del futuro non saranno solo più numerosi, ma anche più ricchi di risorse per la vita. Oltre ad aver bisogno di un ambiente con liquidi, le forme di vita terrestri – come tutte le altre forme di vita ipotizzate dagli scienziati – dipendono dalla presenza di carbonio, azoto e ossigeno. Con il passare del tempo, l'aumento dell'abbondanza relativa di questi elementi dovrebbe rendere i pianeti più ospitali. Quindi, con il diminuire del tasso di formazione stellare dovrebbe aumentare la probabilità per ogni nuova stella di illuminare uno o più pianeti potenzialmente abitabili. Alcune di queste nuove stelle avranno massa ridotta e luminosità debole, che permetteranno loro di sopravvivere per centinaia o migliaia di miliardi di anni (sebbene per l'origine e l'evoluzione della vita non sembrino necessari tempi così lunghi). Per quanto popolato o deserto possa essere oggi l'universo, in futuro dovrebbe abbondare di forme di vita più varie.

Quando i mondi si scontrano

I sistemi planetari dureranno così a lungo che in futuro entreranno in gioco nuove considerazioni. Noi diamo per certa la stabilità del sistema solare; nessuno si preoccupa che in tempi brevi l'orbita terrestre possa diventare caotica e provocare una collisione con Venere. Se però si considerano scale temporali di molti miliar-

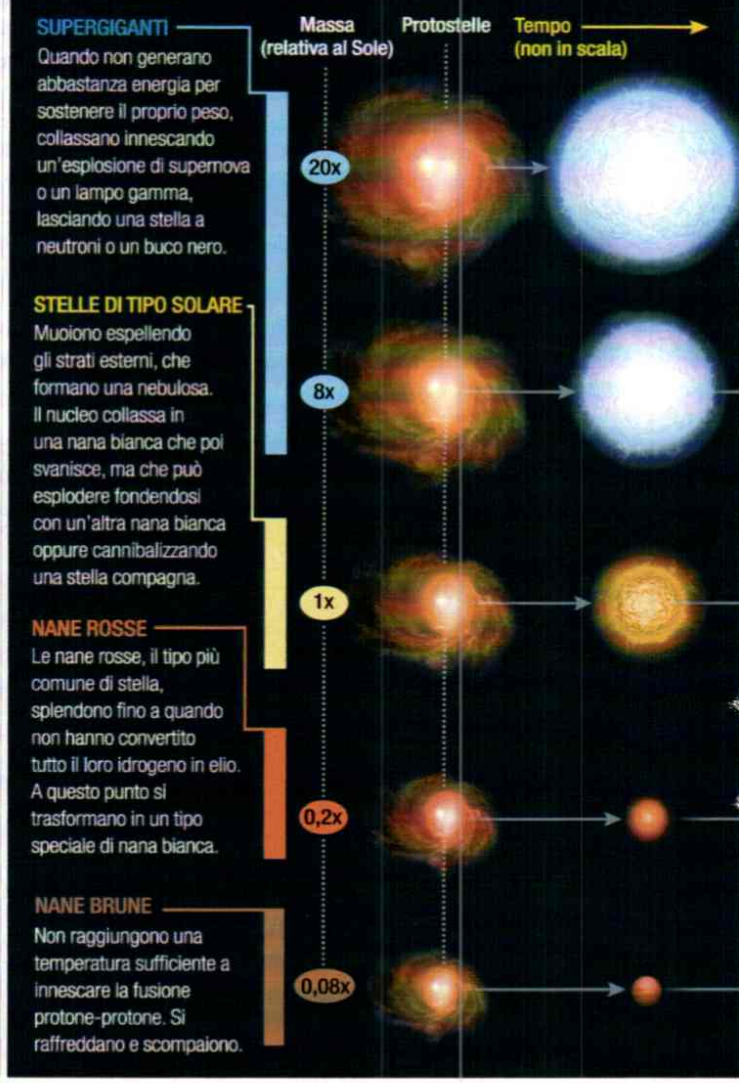
FUTURO DELL'EVOLUZIONE STELLARE

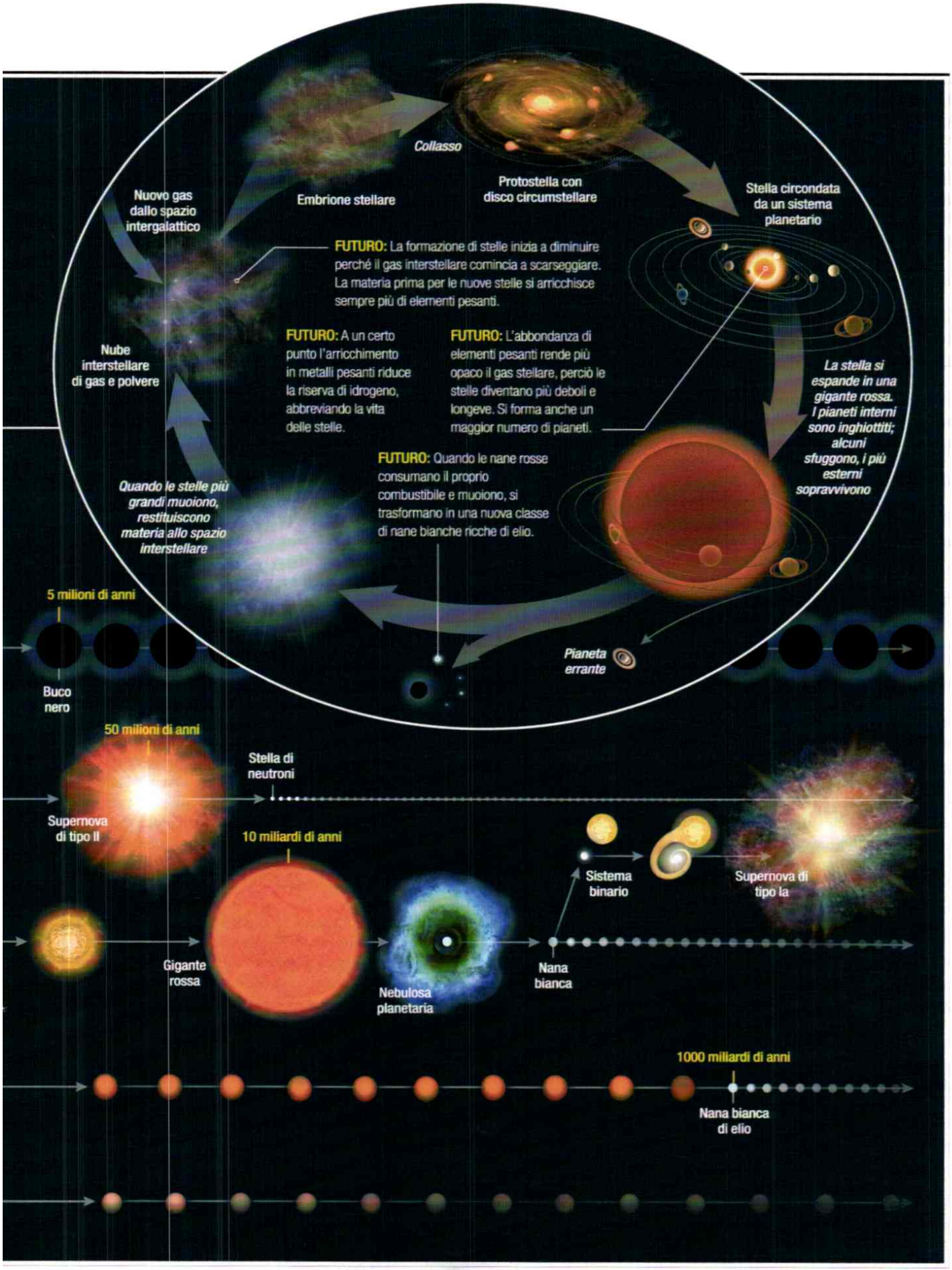
Gli eredi dell'universo

In termini di luminosità, i giorni migliori dell'universo sono già finiti. Tuttavia il cosmo resterà vitale, sia pure con fenomeni meno vistosi, ancora per migliaia di miliardi di anni. Le nane rosse, oggi di gran lunga il tipo più comune di stella, hanno appena iniziato il loro ciclo vitale e nel tempo daranno origine a nuovi tipi stellari. Le prossime generazioni di stelle conterranno gli elementi pesanti sintetizzati dalle generazioni più antiche; questi cambiamenti di composizione modificheranno sia l'aspetto sia la longevità delle stelle. In futuro, inoltre, i pianeti diventeranno più abbondanti. In un arco di tempo sufficientemente lungo, si potranno osservare con una certa frequenza anche fenomeni rari come la collisione diretta tra due stelle.

Chi va piano va lontano e vince la corsa cosmica

Il ciclo delle stelle segue una regola semplice: più sono grandi, più la loro fine è catastrofica. Le stelle massicce contengono più combustibile, ma lo consumano rapidamente e infine esplodono. Dato che in termini cosmici vivono per un istante, questi astri domineranno la galassia fino a quando ne nasceranno di nuovi. Ma il futuro è delle stelle più piccole e longeve.




Collasso
Protostella con disco circumstellare
Embrione stellare
Nuovo gas dallo spazio intergalattico
Stella circondata da un sistema planetario
FUTURO: La formazione di stelle inizia a diminuire perché il gas interstellare comincia a scarseggiare. La materia prima per le nuove stelle si arricchisce sempre più di elementi pesanti.
Nube interstellare di gas e polvere
FUTURO: A un certo punto l'arricchimento in metalli pesanti riduce la riserva di idrogeno, abbreviando la vita delle stelle.
FUTURO: L'abbondanza di elementi pesanti rende più opaco il gas stellare, perciò le stelle diventano più deboli e longeve. Si forma anche un maggior numero di pianeti.
La stella si espande in una gigante rossa. I pianeti interni sono inghiottiti; alcuni sfuggono, i più esterni sopravvivono
FUTURO: Quando le nane rosse consumano il proprio combustibile e muoiono, si trasformano in una nuova classe di nane bianche ricche di elio.
Quando le stelle più grandi muoiono, restituiscono materia allo spazio interstellare
5 milioni di anni
Buco nero
Pianeta errante
50 milioni di anni
Stella di neutroni
Supernova di tipo II
10 miliardi di anni
Sistema binario
Supernova di tipo Ia
Gigante rossa
Nebulosa planetaria
Nana bianca
1000 miliardi di anni
Nana bianca di elio

di di anni, questa fiducia è destinata a svanire. Nel 2009 Jacques Laskar e Mickael Gastineau dell'Osservatorio di Parigi hanno effettuato migliaia di simulazioni delle orbite future dei quattro pianeti interni del sistema solare, variandone le posizioni iniziali di una piccola quantità – solo pochi metri – da una simulazione a un'altra. I loro risultati hanno mostrato una probabilità dell'1 per cento circa di una collisione tra Mercurio e Venere nei prossimi 5 miliardi di anni, che preparerebbe il terreno a una serie di impatti ancora più terribili che probabilmente coinvolgerebbero la Terra. In un arco di 1000 miliardi di anni, collisioni del genere diventerebbero altamente probabili.

Un drastico sconvolgimento avverrà al momento della fusione di Andromeda con la Via Lattea, un evento che riconfigurerà i campi gravitazionali di entrambe le galassie e che potrebbe anche innescare una ristrutturazione totale del sistema solare. Riguardo le simulazioni di Laskar e Gastineau, Laughlin ha commentato: «A questo punto occorre capire in che misura la mano del caos dinamico, che sfiora appena il sistema solare, abbia influenzato la popolazione dei pianeti nella galassia».

Un caos orbitale analogo a quello che si verifica in una famiglia di pianeti può ripetersi anche a scale molto più grandi. Le stelle che fanno parte di sistemi multipli strettamente legati, con due, tre o più componenti, orbitano intorno al centro di massa del sistema sperimentando le reciproche influenze gravitazionali. Più o meno la stessa cosa si può dire per gli ammassi stellari e addirittura per intere galassie. Le stelle che fanno parte di questi sistemi non vengono quasi mai a contatto; nonostante siano «vicine» in termini cosmici, sono separate da enormi regioni di spazio.

Come osservano gli astronomi, le forme di vita intelligenti non hanno ancora influito sul cosmo a grande scala, tuttavia il futuro sarà diverso. L'intero universo diventerà il nostro giardino

In un arco temporale molto lungo, però, «quasi mai» può trasformarsi in «a volte» e infine in «quasi sempre». Alla fine tutti i sistemi stellari doppi si separeranno per effetto di forze gravitazionali esterne o si uniranno, se le due stelle hanno orbite così vicine che la radiazione gravitazionale sottrae energia al sistema. Come è ovvio, probabilmente le stelle doppie molto distanti l'una dall'altra subiranno la prima delle due sorti, mentre alle binarie molto vicine toccherà la seconda.

La fusione di due stelle potrebbe generare una stella più massiccia e luminosa (si veda *Quando le stelle collidono*, di Michael Shara, in «Le Scienze» n. 412, dicembre 2002), ma solo temporaneamente. Anche un pianeta come Giove può produrre un effetto analogo, ma a scala minore. Consideriamo una stella di modeste dimensioni, con una massa pari a un decimo di quella solare e una durata di vita di 1000 miliardi di anni, e supponiamo che abbia un pianeta di tipo gioviano. Se il pianeta ha un periodo orbitale superiore a qualche giorno, probabilmente finirà per essere espulso dal sistema. Ma se percorre un'orbita più vicina il pianeta potrebbe fondersi con la stella, fornendo una riserva di idrogeno che aumenterebbe temporaneamente l'emissione di energia da parte della stella, provocando un *outburst* (aumento repentino della luminosità) simile a quello di una supernova. In futuro, eruzioni stellari di questo tipo interromperanno momentaneamente il lento declino del numero e della luminosità delle stelle. Anche tra 1000 miliardi di anni gli astronomi potranno osservare alcuni strani fenomeni in un numero sempre più piccolo di stelle nelle loro galassie.

Vivere lentamente, vivere a lungo

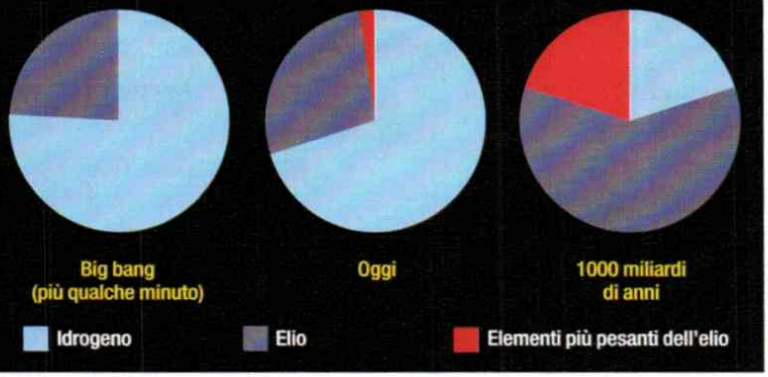
Anche dopo che saranno passate decine e centinaia di miliardi di anni, anche quando la formazione stellare sarà ormai ridotta al minimo, un numero enorme di stelle continuerà a splendere. La maggior parte delle stelle dell'universo ha una massa ridotta e una vita estremamente lunga. Tra la massa di una stella e la sua longevità c'è infatti una relazione di proporzionalità inversa: mentre le stelle massicce sono così luminose che esauriscono rapidamente il combustibile ed esplodono dopo pochi milioni di anni, quelle di massa intermedia come il Sole hanno un'emissione luminosa relativamente contenuta e sopravvivono per miliardi di anni, e quelle di massa molto più piccola della massa del Sole possono bruciare per centinaia di miliardi di anni o anche più. Queste stelle consumano così lentamente il proprio combustibile che, pur disponendo di risorse relativamente modeste, riescono ad alimentare la fusione nucleare per un lunghissimo arco di tempo.

Stelle di massa differente portano a termine la propria esistenza in modi diversi. Il Sole diventerà una gigante rossa, i suoi strati esterni verranno espulsi e si disperderanno nello spazio interstellare, mentre il nucleo genererà una nana bianca: un cadavere stellare delle dimensioni della Terra costituito quasi interamente da nuclei di carbonio ed elettroni. Ma nelle stelle di massa inferiore al 50 per cento della massa del Sole la temperatura del nucleo non aumenta abbastanza da innescare le reazioni nucleari che portano alla fase di gigante rossa. Gli astronomi ritengono che queste stelle diventeranno nane bianche di elio. Questi oggetti, come indica il nome, sono costituiti quasi interamente da elio, con una frazione di idrogeno ridottissima, o addirittura assente, e tracce di altri elementi. Nell'universo attuale possono formarsi quando due stelle binarie vicine si sottraggono a vicenda i rispettivi strati esterni prima che avvenga l'ignizione del loro nucleo di elio; fino a oggi però non sono state scoperte nane bianche di questo tipo generate dai normali processi di evoluzione stellare perché non è ancora passato abbastanza tempo dal big bang. Le nane di elio isolate sono un eminente esempio dei fenomeni inediti che i nostri lontani discendenti potranno osservare per la prima volta.

Le stelle di massa più grande terminano la propria esistenza in maniera molto più spettacolare. Il collasso del nucleo di una stella massiccia, che dà origine a una stella di neutroni oppure a un buco nero, produce un'onda d'urto che espelle violentemente nello spazio gli strati superiori in un'esplosione di supernova. Via via che le stelle massicce si estingueranno, scomparirà anche la maggior parte di queste esplosioni, che oggi sono abbastanza frequenti. Ma la volta celeste continuerà a essere occasionalmente illuminata da un secondo tipo di supernova. Gli oggetti di questa classe, chiamati supernove di tipo Ia, sono generati nei sistemi binari in cui una delle due compagne è diventata una nana bianca. Secondo i modelli più acccreditati presso gli astronomi, in alcune di queste coppie stellari la nana bianca sottrae gas ricco di idrogeno alla stella compagna, che si accumula sulla superficie della nana fino a quando la sua improvvisa fusione nucleare produce una supernova. Simili eventi continueranno a verificarsi fino a quando ci saranno sistemi binari con componenti sufficientemente massicce, forse per altri 100 miliardi di anni circa.

Arricchire la miscela cosmica

Le stelle brillano grazie alla fusione dell'idrogeno in elio e, verso la fine della loro esistenza, dell'elio in elementi più pesanti. Ciascuna generazione di stelle nasce con un contenuto di elementi pesanti maggiore rispetto a quella che l'ha preceduta. Questo processo modifica gradualmente l'aspetto e la longevità delle stelle. Inoltre, potrebbe anche aumentare il numero di pianeti che si formano.



In un ulteriore modello di supernova, che sta ottenendo sempre più consensi tra gli addetti ai lavori, due nane bianche orbitano molto vicine tra loro attorno al comune centro di massa. I loro moti orbitali fanno sì che il sistema binario emetta radiazione gravitazionale. Questa emissione sottrae energia al sistema e riduce l'ampiezza delle orbite delle nane bianche. L'avvicinamento dei due oggetti si fa sempre più rapido, fino a quando la loro fatale traiettoria a spirale li conduce a fondersi in un breve parossismo finale. Questi eventi potrebbero continuare a verificarsi per migliaia di miliardi di anni.

I lampi di raggi gamma (*gamma-ray burst*) sono ancora più luminosi delle esplosioni di supernova. Queste colossali esplosioni si possono dividere in due categorie, che sembrerebbero generate in contesti diversi. I lampi di raggi gamma lunghi, in cui l'emissione di radiazione ad alta energia dura per due secondi o più, potrebbero essere generati quando il nucleo di una stella massiccia collassa per formare una stella di neutroni. I lampi di raggi gamma brevi, di durata inferiore a due secondi, potrebbero essere generati dalla fusione di una stella di neutroni con un'altra stella dello stesso tipo o con un buco nero. Con il passare del tempo i lampi gamma di lunga durata diventeranno estremamente rari perché terminerà la formazione di stelle massicce, ma i lampi di durata breve potrebbero continuare a essere rilevabili nel cielo per migliaia di miliardi di anni.

Migliaia e migliaia di miliardi

Quando si misura il tempo cosmico in termini non di miliardi, ma di migliaia di miliardi di anni, si entra in un'epoca in cui la formazione di stelle è ormai finita. Tutte le stelle, tranne quelle di massa più piccola, si sono estinte, dopo aver terminato la propria esistenza esplodendo oppure riducendosi a nane bianche. Se non si considera la materia oscura, la cui composizione resta un mistero, la nostra galassia (e tutte le altre dell'universo) in quest'epoca è costituita prevalentemente da buchi neri, stelle di neutroni, nane bianche e stelle rosse estremamente deboli, così fioche che non sarebbe possibile vederle senza l'aiuto di un telescopio, anche a distanze più piccole rispetto all'attuale distanza tra Sole e stelle più vicine. Che tristezza, che decadenza, che mancanza di interesse. Tuttavia, tra questi oggetti defunti o in procinto di scomparire, la natura potrà produrre occasionalmente un'enorme esplosione, un momentaneo ricordo della furia nucleare che un tempo riempiva il cielo della luce di miliardi di stelle.

Se gli astri superstiti avranno pianeti in orbita nelle immediate vicinanze – e possiamo aspettarci che questo sarà vero per molti o per la maggior parte di essi – sulla superficie di questi pianeti potrebbe esserci acqua allo stato liquido con varie forme di vita. Gli organismi che potrebbero evolversi avranno la possibilità (come nel caso delle stelle più deboli dell'universo attuale) di abitare questi mondi per un arco di tempo oltre ogni immaginazione, a patto di riuscire a evitare di essere cancellati da una supernova o da un lampo di raggi gamma.

Questa panoramica del lontanissimo futuro lascia in sospeso una questione importante. Civiltà avanzate, ammesso che esistano per un periodo di tempo abbastanza lungo, potrebbero cambiare il corso della storia dell'universo? Oltre trent'anni fa, il fisico Freeman Dyson, dell'Institute for Advanced Study di Princeton, un'autorità in questo tipo di speculazione sul cosmo, affermò: «Ritengo di aver dimostrato che ci sono buone ragioni scientifiche per prendere sul serio la possibilità che esseri intelligenti riescano a modificare l'universo per i propri fini».

Nella nostra epoca, ovvero nemmeno 14 miliardi di anni dopo il big bang, non c'è alcuna prova del fatto che forme di vita intelligenti abbiano influito a grande scala sull'universo. Tuttavia, il treno del tempo ha appena lasciato la stazione. In futuro la sopravvivenza delle forme di vita dipenderà dalla loro capacità di sfruttare una frazione sempre più consistente delle risorse del cosmo (si veda *Qual è il destino della vita nell'universo?*, di Lawrence M. Krauss e Glenn D. Starkman, in «Le Scienze» n. 378, febbraio 2000). L'universo intero diventerà il nostro giardino.

Mentre percorriamo mentalmente questo viaggio abbiamo poche possibilità di stabilire con assoluta certezza quello che accadrà realmente. Il nostro pensiero resta libero di spingersi a piacimento nel futuro. Come scrisse nel 1957 il poeta britannico Wystan Hugh Auden, in un contesto del tutto differente: «*Were all stars to disappear or die/I should learn to look at an empty sky/And feel its total darkness sublime/Though this might take me a little time*» («Se tutte le stelle svanissero o morissero/imparerei a guardare il cielo vuoto/e a trovare sublime la sua totale oscurità/anche se ci vorrà un po' di tempo»). ■

PER APPROFONDIRE

The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. Adams F. e Laughlin G., Free Press, 2000.

The Runaway Universe: The Race to Find the Future of the Cosmos. Goldsmith D., Basic Books, 2000.

The Formation and Evolution of the Milky Way. Chiappini C., in «American Scientist», Vol. 89, n. 6, pp. 506-515, novembre-dicembre 2001.

An Integrated Picture of Star Formation, Metallicity Evolution, and Galactic Stellar Mass Assembly. Cowie L.L. e Barger A.J., in «Astrophysical Journal», Vol. 686, n. 1, pp. 72-116, 10 ottobre 2008.

Fred H. Gage, professore al Laboratorio di genetica del Salk Institute for Biological Studies di La Jolla, in California, è specializzato in malattie neurodegenerative legate all'età.

Alysson R. Muotri è *assistant professor* nel Dipartimento di pediatria e medicina cellulare e molecolare dell'Università della California a San Diego.

NEUROSCIENZE

L'impronta dell'identità

Tratti di DNA che si spostano nel nucleo cellulare contribuiscono ad assicurare che ogni cervello – proprio come le impronte digitali – sia diverso da tutti gli altri

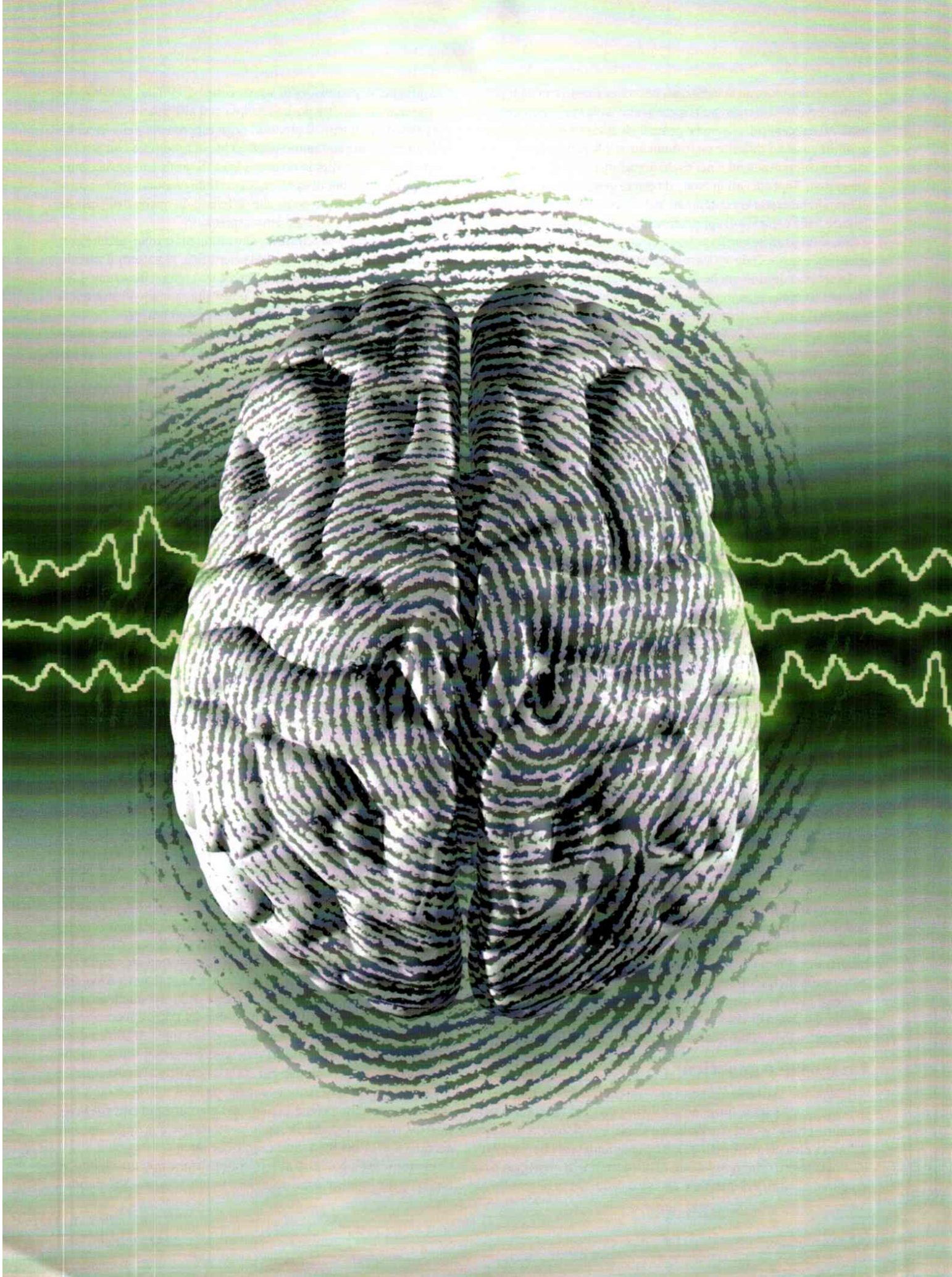
di Fred H. Gage e Alysson R. Muotri

Non esistono due cervelli uguali. Il cervello umano contiene 100 miliardi di neuroni, che possono essere di migliaia di tipi diversi e nel loro insieme formano centinaia di migliaia di miliardi di interconnessioni. Le differenze possono emergere a ogni livello della stupefacente complessità di questa architettura, differenze che, a loro volta, conducono a variazioni nel modo in cui ciascuno di noi pensa, impara e si comporta, e nella nostra propensione ad andare incontro alle malattie mentali.

IN BREVE

I nostri comportamenti sono influenzati sia dai geni sia dall'ambiente, ma negli ultimi anni gli scienziati hanno scoperto che sono all'opera anche altri processi. **I geni saltatori**, frammenti di DNA in grado di fare copie di se stessi e incollarle in altre parti del genoma, possono alterare l'attività dei geni veri e propri. Nel cervello questa attività è maggiore che altrove e può generare a tratti fisici e comportamentali diversi anche in individui strettamente imparentati. **Questi elementi genetici mobili** potrebbero avere un ruolo nella predisposizione individuale alle patologie psichiatriche. **Ora i ricercatori stanno iniziando** a verificare se i geni saltatori contribuscano anche alla nostra capacità di adattarci rapidamente al mutamento delle condizioni ambientali.

Jean-François Podevin



Come si producono le variazioni nei collegamenti e nella funzione del cervello? Un ruolo può essere svolto dalle variazioni nei geni ereditati dai genitori, ma anche gemelli identici cresciuti dagli stessi genitori possono differire marcatamente nel funzionamento mentale, nei comportamenti e nei rischi di malattia mentale o neurodegenerativa. Topi allevati in modo da essere geneticamente identici e allevati in laboratorio esattamente nello stesso modo mostrano differenze nella capacità di apprendimento, nell'evitamento di stimoli e situazioni paurose e nella risposta di stress anche mantenendo costanti età e sesso. Ci deve essere qualcosa di più.

Di sicuro contano anche le esperienze che abbiamo nella vita; che, per esempio, possono influenzare la forza delle connessioni tra particolari gruppi di neuroni. Ma i ricercatori stanno trovando sempre più spesso indizi, affascinanti quanto elusivi, che possano essere all'opera altri fattori: per esempio processi che facciano mutare certi geni o che influiscano sul comportamento di qualche gene nelle fasi precoci dello sviluppo embrionale o in momenti successivi della vita. Uno di questi fenomeni è lo *splicing* alternativo, in cui un unico gene può dare luogo a due o più proteine diverse; sono le proteine a svolgere la maggior parte delle operazioni nelle cellule, e quindi quali sono le proteine prodotte nelle cellule influenzerà il funzionamento dei tessuti composti da quelle cellule. Molti ricercatori stanno inoltre esplorando il ruolo dei mutamenti epigenetici – alterazioni del DNA che modificano l'attività dei geni (aumentando o diminuendo la sintesi di specifiche proteine) senza alterare l'informazione contenuta nei geni stessi.

Negli ultimi anni, con i nostri colleghi, ci siamo dedicati ad alcuni candidati molto interessanti, che sembrano operare nel cervello più che altrove: i geni saltatori. Geni di questo tipo, che sono stati trovati praticamente in tutte le specie viventi, possono inserire copie di sé stessi in altre parti del genoma, e alterare le funzioni della cellula in cui ciò avviene, facendola agire in modo diverso da un'altra cellula adiacente identica per ogni altro verso. Si può immaginare che un gran numero di inserzioni del genere, in molte cellule diverse, possa dare origine a differenze più o meno sottili nelle abilità cognitive, nella personalità e nella suscettibilità a problemi neurologici.

I geni saltatori possono alterare le funzioni di una cellula facendola agire in modo diverso da un'altra identica

Le nostre prime osservazioni di salti di geni nel cervello ci hanno spinto a porci un'altra domanda: dato che il corretto funzionamento del cervello è essenziale per la sopravvivenza, perché l'evoluzione ha consentito di perpetuarsi a un processo che interferisce con la sua programmazione genetica? Non abbiamo ancora una risposta definitiva, ma prove crescenti indicano che introducendo una forma di variabilità nelle cellule cerebrali i geni saltatori conferiscano una flessibilità che aiuta ad adattarsi rapidamente a circostanze mutevoli. In questo senso, forse i geni saltatori – chiamati anche elementi mobili del genoma – sono stati conservati nell'evoluzione perché, dal punto di vista della sopravvivenza della specie, i benefici in termini di migliore adattamento pesano più dei rischi.

Un mosaico genetico

L'idea che esistano elementi mobili che vanno in giro per il genoma non è nuova. Inizialmente il salto dei geni fu scoperto nelle piante prima ancora che Watson e Crick decifrassero la struttura a doppia elica del DNA nel 1953. Negli anni quaranta Barbara McClintock osservò che certi «elementi di controllo» si muovevano da un punto all'altro del materiale genetico delle piante di granturco, e scoprì che, in condizioni di stress, certe regioni del genoma potevano migrare in altre posizioni, dove poi attivavano o disattivavano determinati geni. Il prodotto degli esperimenti della McClintock furono le ormai famose pannocchie di granturco con semi di colori diversi: una dimostrazione visiva di un tipo di mosaicismo genetico in cui i geni di ogni singola cellula possono essere accesi o spenti secondo uno schema che differisce da quello delle cellule adiacenti, identiche per ogni altro aspetto.

Le ricerche della McClintock, che all'inizio furono accolte con molto scetticismo nella comunità scientifica, le valsero il premio Nobel nel 1983. Negli anni successivi è diventato chiaro che il fenomeno del mosaicismo genetico non è limitato alle piante ma si verifica in numerosi organismi, fra cui gli esseri umani.

Il lavoro della McClintock riguardava i trasposoni, elementi mobili che si avvalgono di un meccanismo di «taglia e incolla» per spostare un tratto di DNA in vari punti del genoma della cellula. Le ricerche più recenti sugli elementi mobili nel cervello sono state invece centrate sui retrotrasposoni, che per insinuarsi in nuove regioni del genoma usano invece un meccanismo di tipo «copia e incolla». Essenzialmente questi elementi, invece di saltare fuori dal DNA adiacente, replicano se stessi; la copia così prodotta va poi a inserirsi in una nuova posizione.

I retrotrasposoni costituiscono fino alla metà dei nucleotidi – i «mattoni» di cui è fatto il DNA – del genoma umano. Di contro, i nostri 25.000 geni circa che codificano per le proteine sono meno del 2 per cento del DNA dei mammiferi. I geni saltatori sono i discendenti dei sistemi molecolari arcaici capaci di replicazione che invasero il genoma degli eucarioti (gli organismi che hanno cellule dotate di nucleo) in un lontanissimo passato. Un tempo erano ritenuti DNA «spazzatura» non funzionale, ma nel 1988 il gruppo di Haig H. Kazazian Jr. all'Università della Pennsylvania dimostrò che nei tessuti umani c'erano retrotrasposoni attivi.

Un tipo di retrotrasposone, in particolare, detto *long interspersed element 1* (L1) sembra avere un ruolo chiave nel genoma umano. È infatti in grado di spostarsi di frequente, probabilmente perché nella sua sequenza, contrariamente ad altri elementi mobili presenti nella specie umana, porta con sé le istruzioni per il macchinario biochimico grazie a cui può diffondere copie di se stesso un po' in tutte le parti del genoma cellulare. L'analisi del suo comportamento nelle cellule rivela che, quando qualcosa spinge un L1 del genoma nucleare a dare inizio al processo di «salto», per prima cosa esso trascrive se stesso in RNA a singolo filamento; questo RNA poi si sposta dal nucleo al citoplasma, ove serve da stampo per la costruzione delle proteine specificate da alcune parti del DNA dell'L1 stesso. Queste proteine formano poi un complesso molecolare con l'RNA ancora intatto, e l'intero complesso torna a migrare nel nucleo. Qui una delle proteine, un enzima del gruppo delle endonucleasi, provoca un'intaccatura in uno specifico sito del DNA, e il complesso usa l'RNA come stampo da cui produrre una copia di DNA a doppio filamento del trasposone L1 originale, e inserisce questo duplicato nel genoma nel punto in cui era stata praticata l'intaccatura.

Questo tipo di trascrizione inversa, da RNA a DNA, è oggi noto a molte persone perché fa parte del meccanismo con cui il virus HIV riesce a inserire in modo permanente una copia del suo genoma a RNA nel DNA delle cellule che infetta.

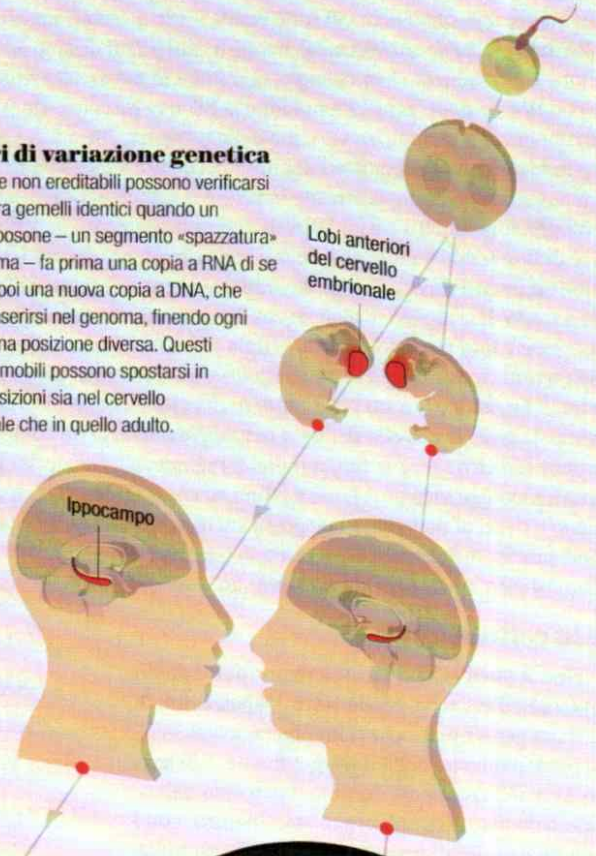
In molti casi il processo di retrotrasposizione non arriva fino in fondo, il che produce copie tronche e non funzionali dell'origina-

Genetica copia e incolla

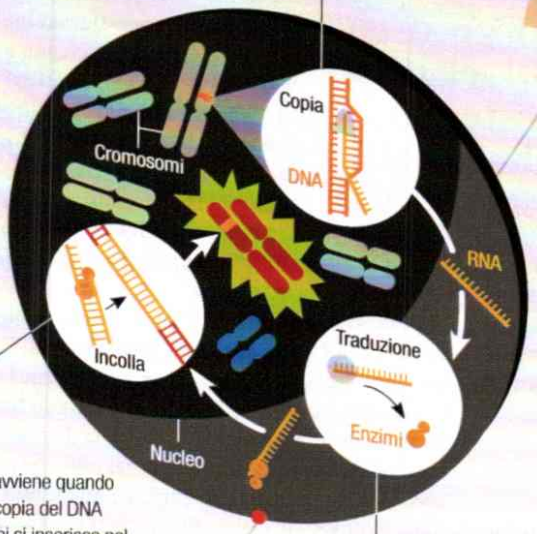
Alcune sequenze di DNA, i cosiddetti geni saltatori, particolarmente attivi nel cervello, possono fare copie di se stessi e poi inserirle in altre posizioni nel genoma della cellula. In queste nuove posizioni i geni saltatori, detti anche retrotrasposoni, possono non avere alcun effetto sui geni adiacenti in cui sono codificate le proteine da sintetizzare. In qualche caso, però, possono invece attivare alcuni di quei geni, e influenzare il funzionamento delle singole cellule. Fino a metà del DNA del genoma umano è costituita da retrotrasposoni. Questo processo avviene più spesso nel cervello che negli altri organi del corpo.

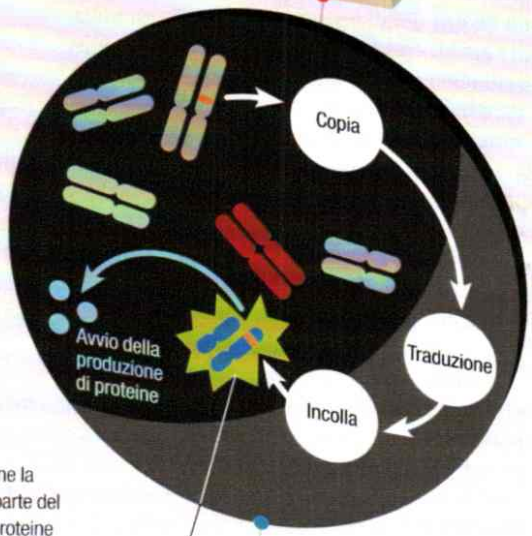
Motori di variazione genetica

Differenze non ereditabili possono verificarsi persino fra gemelli identici quando un retrotrasposone – un segmento «spazzatura» del genoma – fa prima una copia a RNA di se stesso e poi una nuova copia a DNA, che torna a inserirsi nel genoma, finendo ogni volta in una posizione diversa. Questi elementi mobili possono spostarsi in nuove posizioni sia nel cervello embrionale che in quello adulto.



1 La copia avviene quando una sequenza di DNA è «trascritta» in un singolo filamento di RNA, che poi si sposta dal nucleo fino al citoplasma della cellula.

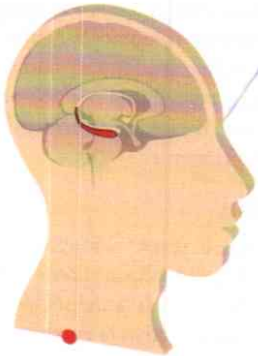




2 Nel citoplasma avviene la «traduzione» di una parte del filamento di RNA in proteine ausiliarie. Il filamento di RNA e le proteine appena formate si legano insieme e tornano nel nucleo cellulare.

3 L'incollaggio avviene quando l'RNA fa una copia del DNA iniziale, che poi si inserisce nel genoma in una nuova posizione, dove una proteina ha praticato un'incisione che apre un cromosoma.

4 Una volta che il filamento di DNA sia stato incorporato in un altro punto del genoma può avvenire l'attivazione di un gene che si trovi nelle vicinanze.



Risultato: gemelli non identici

Anche quando i gemelli provengono dallo stesso ovulo fecondato, possono essere diversi a causa dell'attività dei geni saltatori. Il DNA itinerante può spiegare come mai i modelli di attivazione dei geni e i comportamenti da essi generati siano diversi da persona a persona.

Jen Christiansen

rio DNA di L1. A volte, questi frammenti (o le copie integrali di L1) non influiscono sui geni in cui sono codificate le proteine, ma altre volte possono avere conseguenze, buone o cattive, sul destino della cellula. Un frammento, per esempio, può finire in mezzo alla regione codificante di un gene, alterandone la relativa proteina. Questo può condurre a una nuova variante della proteina, che a sua volta può favorire o danneggiare l'organismo. Oppure l'inserimento in una posizione può semplicemente impedire la fabbricazione di una certa proteina. In altri casi il DNA di nuovo inserimento può finire al di fuori delle regioni codificanti ma agire da promotore (cioè come un interruttore capace di «accendere» i geni adiacenti) e alterare i livelli di espressione genica: con risultati, di nuovo, che possono essere buoni o cattivi per la cellula e per l'organismo. Quando la retrotrasposizione di L1 riguarda un gran numero di posizioni in qualche neurone, o un gran numero di cellule cerebrali, o entrambe le cose, il cervello risulterà nettamente diverso da come si sarebbe formato senza la loro attività. È ragionevole che un simile mosaicismo genetico possa avere effetti su cognizione, comportamento e rischi di malattia, e che possa anche contribuire a spiegare come mai fra due gemelli identici a uno può essere diagnosticata la schizofrenia e all'altro no.

E le cellule adulte?

Fino a poco tempo fa la maggior parte di chi sapeva dell'esistenza della retrotrasposizione di L1 dava per scontato che il fenomeno avesse luogo principalmente nella linea germinale, e in particolare nell'embrione, durante il percorso dall'ovulo fecondato fino all'organismo maturo, con i suoi diversi tipi di tessuto. Erano pochi gli indizi che i geni L1 restassero attivi nei tessuti somatici (quelli non coinvolti nella produzione delle cellule germinali) pienamente maturi, anche se era stato effettuato solo un numero limitato di analisi dettagliate. In linea di principio, nelle cellule degli individui pienamente maturi i geni saltatori dovrebbero stare fermi. Se i geni esistono esclusivamente per propagare se stessi, come sostiene una versione della teoria dell'evoluzione, i geni saltatori avrebbero poche ragioni di restare attivi nelle cellule somatiche, perché queste cellule non possono mai passare il proprio DNA alla successiva generazione: le cellule interessate muoiono con il loro proprietario.

Il miglioramento delle tecniche di rilevamento di questi elementi ha però rivelato che i retrotrasposoni possono muoversi nei tessuti somatici anche dopo il completamento dello sviluppo embrionale. Questi eventi si verificano con maggiore frequenza nel cervello che in altri tessuti, e ciò mette direttamente in discussione l'idea consolidata che le istruzioni genetiche delle cellule cerebrali adulte siano identiche fra una cellula e l'altra e rimangano stabili per tutta la vita di ciascuna cellula.

Nel nostro laboratorio, per esempio, abbiamo monitorato i salti dei geni in un topo le cui cellule erano state alterate geneticamente in modo da dare una fluorescenza verde quando un elemento L1 si inseriva in qualche punto del genoma in qualsiasi parte del corpo. Abbiamo osservato il bagliore verde solo in alcune cellule dell'ippocampo (una regione importante per la memoria e l'attenzione), il che suggerisce che L1 potrebbe essere più soggetto a muoversi nel cervello che in altri tessuti somatici. È interessante anche notare che i salti avvengono nelle cellule progenitrici che danno poi origine a nuovi neuroni dell'ippocampo. In vari tessuti degli organismi maturi rimane una piccola popolazione di cellule progenitrici, pronta a dividersi e a dare origine alle cellule specializzate che sostituiscono quelle che muoiono. L'ippocampo è una delle due regioni del cervello in cui avviene la neurogenesi. Gli elementi L1, quindi, appaiono attivi durante lo sviluppo precoce, quando nascono i neuroni, ma possono esserlo anche nel cervello adulto, nelle aree in cui continuano a essere prodotti nuovi neuroni.

Prove di retrotrasposizione attiva nei tessuti somatici umani, e in particolare nel cervello, sono arrivate dall'analisi di materiale autoptico. Confrontando gli elementi L1 individuati in cervello, cuore e fegato, abbiamo visto che i tessuti cerebrali contenevano un numero significativamente maggiore di elementi L1 per nucleo cellulare rispetto ai tessuti cardiaci o epatici. Questa differenza è un segno che gran parte dell'attività di salto è avvenuta nel corso dello sviluppo precoce, perché la retrotrasposizione richiede la divisione cellulare, che nel cervello, a parte due regioni circoscritte, non avviene più dopo la prima infanzia. Un'analisi numerica suggerisce che negli esseri umani ciascun neurone vada incontro in media a 80 eventi di integrazione di L1, un tasso ampiamente sufficiente a dare origine a notevoli variazioni fra una cellula e l'altra e nell'attività cerebrale complessiva dei diversi individui.

Queste scoperte potrebbero rendere più difficile distinguere gli effetti relativi di natura e cultura sulla nostra psiche

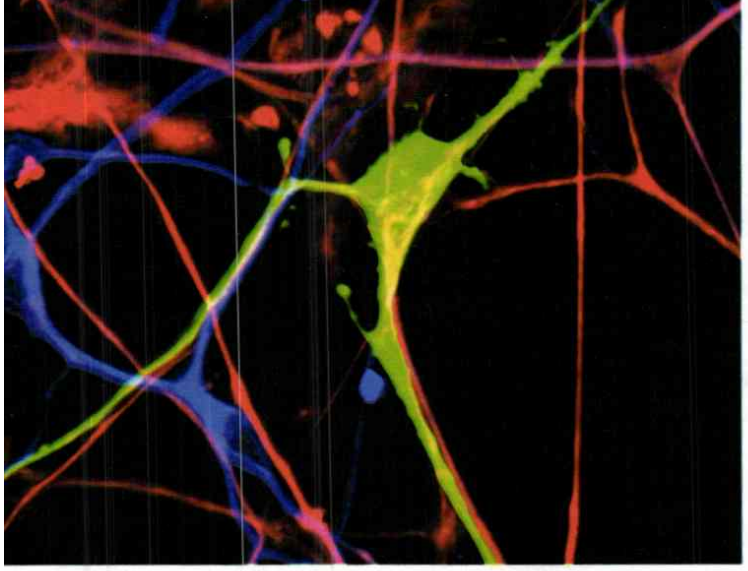
Un recente risultato ottenuto al Roslin Institute di Edimburgo ci dà un'altra conferma dell'attività di L1 nel cervello umano. I ricercatori hanno infatti riferito che un totale di 7743 aree dell'ippocampo e del nucleo caudato (anch'esso coinvolto nella memoria) di tre persone decedute conteneva elementi L1 integrati. Questo dimostra anche che il quadro che sta cominciando a emergere della diversità genetica all'interno del cervello è destinato a farsi sempre più complicato con il procedere delle ricerche. Il gruppo del Roslin ha infatti avuto la sorpresa di imbattersi in circa 15.000 membri di una classe di retrotrasposoni detta *short interspersed element* (SINE). Preponderante era un elemento SINE che fa parte del gruppo dei cosiddetti elementi Alu, mai incontrato prima nel cervello.

Le nostre osservazioni ci hanno spinto a chiederci che cosa possa far scattare l'attività di salto degli elementi L1. Sapendo che l'ippocampo è anche uno dei siti in cui avviene la neurogenesi e che l'esposizione a nuove situazioni e l'esercizio fisico attivano la neurogenesi nei topi, abbiamo deciso di vedere se l'esercizio fisico potesse essere uno sprone anche per il salto dei geni. E abbiamo scoperto che dopo aver fatto correre i nostri topi transgenici su una ruota il numero di cellule fluorescenti verdi nell'ippocampo dei roditori risultava aumentato di circa due volte.

Dato che le novità e le difficoltà spronano anch'esse la neurogenesi, stiamo considerando la possibilità che anche un ambiente nuovo o poco familiare possa stimolare la retrotrasposizione. Se siamo nel giusto, e l'attività di salto degli L1 aumenta davvero man mano che il sistema nervoso apprende e si adatta al mondo esterno, questo indicherebbe che i singoli cervelli e le reti neurali di cui sono fatti cambiano e si modificano continuamente a ogni nuova esperienza, anche nei gemelli geneticamente identici.

Le origini delle malattie

Stiamo continuando a espandere le prove a favore dell'ipotesi che i geni saltatori possano contribuire alla variabilità del funzionamento cerebrale umano, andando al di là del semplice conteggio degli elementi L1 nel DNA. Nel tentativo di correlare i nostri dati a eventi concreti che abbiano un effetto, positivo o negativo,



Geni saltatori: il DNA che può inserirsi in varie posizioni in un genoma di topo ha fatto sì che la cellula nervosa in cui si trova presenti fluorescenza verde.

sulla vita delle persone, a volte è più facile individuare con precisione le conseguenze negative dovute al salto di un gene, se non altro perché risultano particolarmente evidenti.

Nel novembre 2010 il nostro gruppo ha riferito su «Nature» che una mutazione del gene *MeCP2* influenzava le retrotrasposizioni di L1 nel cervello. Le mutazioni del gene *MeCP2* possono indurre la sindrome di Rett, un grave disturbo dello sviluppo cerebrale che colpisce quasi esclusivamente le ragazze. La scoperta che il gene *MeCP2* risultava mutato in pazienti affetti dalla sindrome di Rett e da altri disturbi mentali solleva molteplici questioni sul meccanismo molecolare e cellulare di questa malattia. Le nostre ricerche hanno mostrato che le mutazioni nel cervello di topi e esseri umani affetti dalla sindrome di Rett risultavano in un significativo incremento delle inserzioni di elementi L1 nei loro neuroni, un'osservazione che fa pensare che i geni saltatori possano render conto di alcuni degli effetti della mutazione *MeCP2*.

L'attività di L1 è emersa anche in altri disturbi. Un'analisi della corteccia frontale di persone affette da schizofrenia ha rivelato un più alto numero di sequenze L1 rispetto alle persone sane. Prove circostanziali suggeriscono che gli elementi L1 siano un aspetto importante di vari disturbi cerebrali, fra cui l'autismo. Capire il ruolo degli elementi mobili nello sviluppo delle malattie psichiatriche potrebbe condurre a nuovi metodi di diagnosi, cura e prevenzione.

Le ricerche in corso sui geni saltatori nel cervello sono potenzialmente in grado di rimettere in questione un'intera disciplina accademica. Spesso i genetisti che studiano il comportamento seguono gruppi di gemelli identici per lunghi periodi di tempo per tenere sotto controllo gli effetti dei geni e determinare i contributi dell'ambiente in disturbi come la schizofrenia. La scoperta che i geni saltatori ridefiniscono attivamente il genoma dopo la formazione dell'embrione mette in discussione l'assunto che i gemelli «identici» siano davvero del tutto uguali dal punto di vista genetico. Le nuove scoperte, anzi, renderanno ancor più difficile distinguere gli effetti relativi di natura e cultura sulla nostra psiche.

Rimane la domanda sul perché l'evoluzione non abbia eliminato queste vestigia di antichi virus dalle nostre cellule, visto che i geni saltatori hanno un'alta probabilità di introdurre difetti genetici potenzialmente fatali. Per rispondere dobbiamo tenere presente che gli esseri umani sono soggetti da sempre all'attacco di parassiti virali e altri invasori che espandono le dimensioni del nostro genoma aggiungendovi del DNA saltatore. Nel corso dell'evoluzione, il corpo dei nostri progenitori può non essere riuscito a eliminare del tutto gli intrusi, ma si è quanto meno adattato a coesistere con essi, silenziandoli grazie a una varietà di ingegnosi meccanismi che causano mutazioni al loro interno e li disabilitano. A quanto pare, in qualche caso i nostri genomi hanno addirittura preso possesso del macchinario genetico dei retroelementi L1, usandoli per migliorare la nostra sopravvivenza; e questa è una ragione per cui le cellule potrebbero talora consentire agli L1, in condizioni accuratamente controllate, di saltare in altri punti del genoma o persino incoraggiare questo processo.

Un indizio sulle ragioni della persistenza di questi elementi potrebbe venire da un'analisi più attenta del fatto che i topi di uno stesso ceppo genetico allevati in condizioni strettamente controllate variano grandemente, per esempio, nella loro risposta allo stress. Le differenze comportamentali osservate hanno una distribuzione tipica nella popolazione, e questo implica che i meccanismi che producono la variabilità sono casuali, come appunto sembrano essere anche i siti di inserzione dei retrotrasposoni L1.

La possibile natura casuale dei movimenti degli L1 da un punto all'altro del genoma significa che la selezione naturale potrebbe «lanciare i dadi» a caso, nella speranza che i vantaggi dovuti alle inserzioni che danno risultati positivi pesino più delle eventuali conseguenze dannose delle altre inserzioni. E può darsi che la natura lanci i dadi particolarmente spesso nelle cellule neurali progenitrici dell'ippocampo, in modo da massimizzare la possibilità che almeno qualcuna delle nuove posizioni di inserzione possa dare origine a una popolazione di neuroni adulti particolarmente adatta ai nuovi compiti che il cervello si troverà ad affrontare. Un processo in qualche misura analogo si verifica quando il DNA delle cellule immunitarie si riarrangia per produrre una serie di anticorpi, e poi solo le cellule che generano quelli più efficaci per combattere un certo patogeno sono selezionate per la produzione su larga scala.

Questo scenario non sembra azzardato. Gli effetti mediati dagli elementi L1 non hanno bisogno di essere particolarmente forti o di verificarsi in un gran numero di cellule per influenzare il comportamento. Nei roditori, a volte può bastare un'alterazione del modello di scarica di un unico neurone per determinare una differenza nel comportamento.

Ulteriore sostegno all'idea può venire forse dalla scoperta che l'unica linea di discendenza di elementi saltatori L1 attualmente attiva nel genoma umano si è evoluta circa 2,7 milioni di anni fa, dopo la separazione tra la linea evolutiva degli scimpanzé e quella degli esseri umani ad andatura bipede, nel momento in cui i nostri antenati ominidi stavano appena cominciando a usare di attrezzi di pietra. Questa osservazione dà una certa credibilità all'idea che gli elementi L1 possano aver contribuito alla costruzione di cervelli capaci di elaborare l'informazione relativa all'ambiente in modo rapido, e quindi di affrontare meglio le sfide lanciate da condizioni ambientali e climatiche continuamente mutevoli. I geni saltatori L1, insomma, sarebbero stati collaboratori e compagni di strada del percorso evolutivo di *Homo sapiens*. ■

Da *L1 retrotransposition in human neural progenitor cells*, di Nicole G. Coufal e altri, in «Nature», Vol. 460, 27 agosto 2009

PER APPROFONDIRE

L1 Retrotransposition in Human Neural Progenitor Cells. Coufal N.G. e altri, in «Nature», Vol. 460, pp. 1127-1131, 27 agosto 2009.

LINE-1 Retrotransposons: Mediators of Somatic Variation in Neuronal Genomes? Singer T. e altri, in «Trends in Neurosciences», Vol. 33, n. 8, agosto 2010.

www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2916067/?tool=pubmed.

IMBRIGLIARE

di Davide Castelvecchi

Per farsi un'idea degli ostacoli che devono affrontare le fonti rinnovabili di energia basta guardare alla Danimarca. Il paese ha alcuni dei più grandi impianti eolici del mondo. Eppure, dato che spesso la domanda di elettricità è ai minimi proprio quando il vento soffia con più forza, la Danimarca è costretta svendere il suo sovrappiù di elettricità ai paesi confinanti, per poi doverla ricomprare quando i prezzi sono andati su. Di conseguenza, i danesi si trovano a pagare bollette tra le più alte al mondo.

Anche le aziende elettriche del Texas e della California soffrono di un simile sfasamento tra domanda e offerta; spesso devono persino pagare i loro clienti perché assorbano più energia quando le pale eoliche o i pannelli solari ne producono in eccesso. Sulla carta, vento e Sole potrebbero fornire ciascuno agli Stati Uniti il loro intero fabbisogno di energia, ma in pratica, secondo le stime del Department of Energy (DOE), queste fonti sono troppo irregolari per arrivare molto oltre il 20 per cento

IN BREVE

Il Sole brilla soltanto di giorno e il vento soffia in modo irregolare. Affinché le fonti rinnovabili si diffondano, sarà necessario trovare il modo per immagazzinarne l'energia e usarla quando serve.

Alcune aziende elettriche sfruttano già i momenti in cui la domanda è bassa per immagazzinare energia in bacini idroelettrici, un approccio che potrebbe essere usato in molti più casi.

Altre soluzioni praticabili per immagazzinare grandi quantità di energia includono rivoluzionarie batterie, impianti ad aria compressa, centrali solari che accumulano il calore per produrre elettricità anche di notte. Queste tecniche richiederanno grandi progressi tecnologici per competere con il costo dell'elettricità prodotta da impianti convenzionali.

Davide Castelvecchi è un giornalista freelance e collaboratore di «Scientific American».

IL VENTO

Perché le energie rinnovabili possano avere veramente successo, bisognerà trovare il modo di sfruttarle anche quando il Sole o il vento non ci sono

La nostra giuria di esperti:
Imre Gyuk, Department of Energy (DOE)
Ruth Howes, Ball State University
Haresh Kamath, Electric Power Research Institute
David J. C. MacKay, Università di Cambridge
Ernest Moniz, Massachusetts institute of Technology

circa dell'energia di ogni regione. Oltre quella soglia, compensare domanda e offerta diviene troppo complicato. Ciò che serve, quindi, è un modo efficiente ed economico per immagazzinare l'energia elettrica prodotta in eccesso e sfruttarla più tardi.

Tecnologie avveniristiche come magneti superconduttori, supercondensatori o volani ad altissima velocità sono troppo costose per essere adottate su grande scala, o non sono in grado di immagazzinare energia in modo efficiente per periodi lunghi. Per questo articolo abbiamo esaminato cinque tecnologie che potrebbero risolvere il problema. Ciascuna di esse potrebbe immagazzinare per giorni o settimane energia sufficiente a mandare avanti un'intera metropoli. Inoltre abbiamo chiesto aduna giuria di esperti di dare i loro voti a queste cinque tecnologie in base a tre criteri: quanto è espandibile? Qual è il rapporto tra prezzo e prestazioni? E infine, dato che nessun metodo di stoccaggio dell'energia può farlo senza sprechi, con che efficienza?

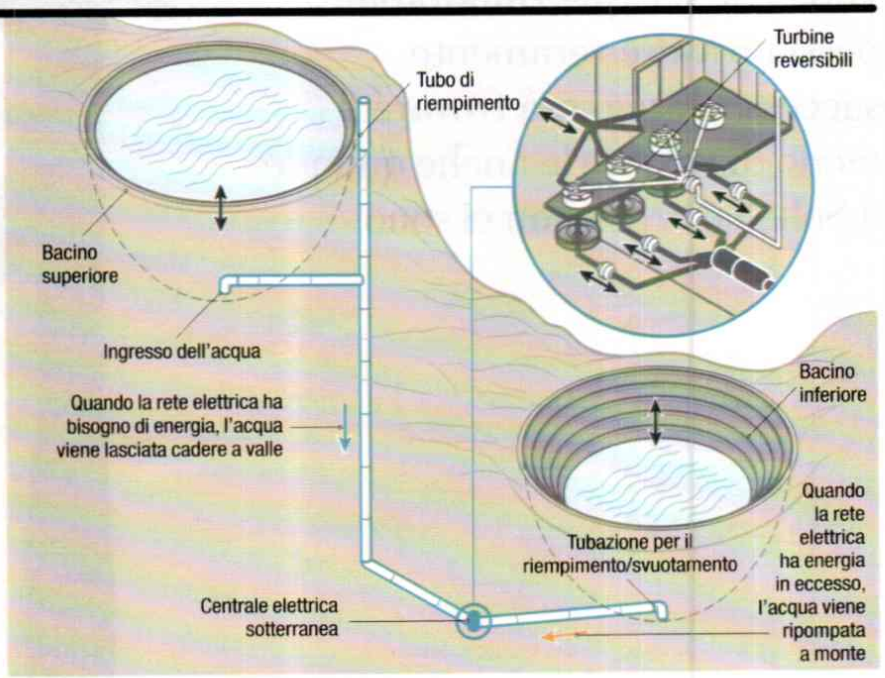
Due di queste soluzioni sono già abbastanza mature ed economicamente accettabili. A differenza delle tecnologie futuristiche di cui amano occuparsi i media, sembrano uscite più dalla mente di Fred Flintstone che da quella di *I Pronipoti*: si basano una sulla gravità e l'altra sull'aria compressa. Gli altri tre metodi richiederanno svolte nella ricerca tecnologica prima di essere utilizzabili su grande scala, ma poi potrebbero diventare ottimi concorrenti. «Nel giro di dieci anni mi aspetto di vedere una grande capienza di stoccaggio sulle reti elettriche», afferma Imre Gyuk, il fisico responsabile per la ricerca del settore al DOE.

IDROELETTRICO CON ACCUMULO

SCALABILITÀ 4,0
ECONOMICITÀ 4,0
EFFICIENZA ENERGETICA 4,2*

I PRO	I CONTRO
efficiente, economico, affidabile	scarsità di siti adatti

*votazione media della giuria di esperti, su un massimo di 5 punti



Molti paesi usano immagazzinano già quantità rilevanti di energia elettrica grazie agli impianti idroelettrici con accumulazione. La tecnica, vecchia ormai di un secolo, consiste essenzialmente in una diga idroelettrica che può funzionare al contrario. L'energia in eccesso viene usata per pompare acqua da un bacino a valle a uno a monte. Quando poi l'acqua ricade giù passa attraverso turbine idroelettriche per generare elettricità e riottenere l'energia che era stata messa da parte (con perdite al di sotto del 20 per cento nel caso di impianti moderni).

Negli Stati Uniti 38 impianti di accumulazione idroelettrica conservano l'equivalente del 2 per cento circa della produzione nazionale. Si tratta di una fetta piccola rispetto a quella dell'Europa (quasi il 5 per cento) o del Giappone (10 per cento circa).

L'industria americana del settore però ha in programma di raddoppiare la capienza, costruendo nuovi impianti. Uno dei progetti più ambiziosi è l'Eagle Mountain Pumped Storage Project, nel sud della California. Utilizzerebbe due conche già esistenti in una miniera a cielo aperto esaurita per immagazzinare energia prodotta da impianti eolici e solari nella zona, restituendo una potenza di 1,3 gigawatt, l'equivalente di una grossa centrale nucleare. Nel Montana, il consorzio Grasslands Renewable Energy ha proposto un impianto che imbriglierebbe il vento delle Great Plains per riempire un lago artificiale ricavato su un altopiano 400 metri più in su.

La crescita degli impianti idroelettrici con accumulazione è limitata soprattutto dalla topografia. Bisogna inondare grandi bacini a una certa altitudine, con possibili danni all'ambiente. E molti paesi – come la Danimarca o l'Olanda – sono semplicemente troppo piatti. Per situazioni simili, la società di consulenza olandese Kema ha proposto un'alternativa piuttosto estrema: «l'isola dell'energia». Si tratta di una laguna artificiale costruita con terra di riporto in un mare poco profondo. In questo caso l'elettricità in eccesso verrebbe usata per pompare acqua fuori dalla laguna, svuotandola. Per recuperare l'energia, si farebbe ricadere l'acqua nella laguna, non prima di averla fatta passare attraverso le turbine. Il mare circostante, quindi, svolgerebbe il ruolo del bacino superiore.

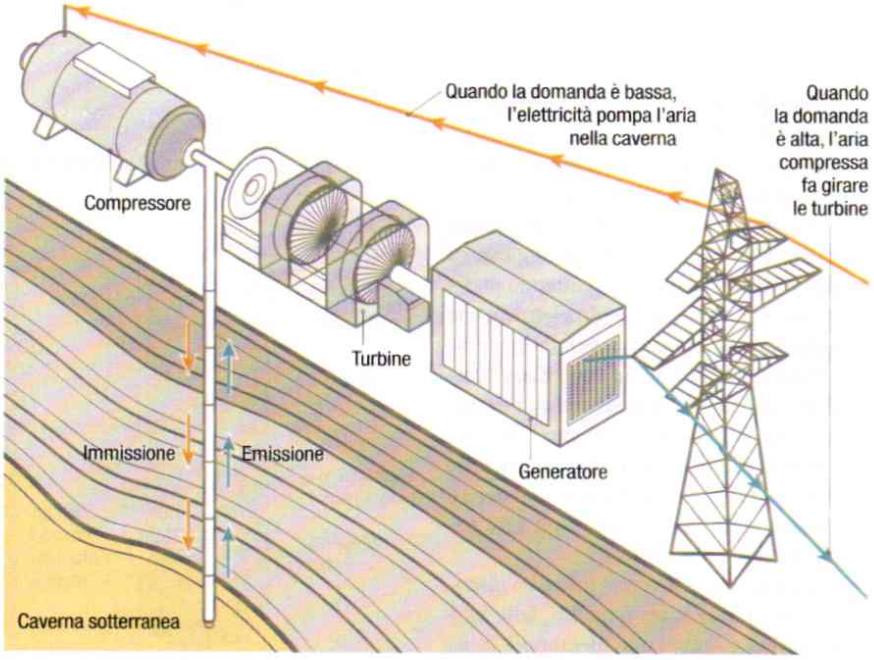
Invece la Gravity Power di Santa Barbara, in California, ha una proposta che potrebbe essere adottata praticamente ovunque: un enorme pozzo in cui abbassare un cilindro di acciaio riempito di materiali pesanti. Il cilindro verrebbe sollevato idraulicamente pompando acqua dal basso. L'energia così immagazzinata verrebbe poi ripresa facendo uscire l'acqua in pressione da sotto al cilindro e facendola passare dalle turbine.

Tutte le illustrazioni dell'articolo sono di Jamieson Simpson; Christopher Griffith/Trunk Archive *(pagine precedenti)*

ARIA COMPRESSA

SCALABILITÀ 4,0
ECONOMICITÀ 4,0
EFFICIENZA ENERGETICA 3,4

I PRO	I CONTRO
economico, già testato	può richiedere la combustione di gas naturale



Nel sottosuolo dell'Alabama, un'enorme caverna artificiale accoglie quella che potrebbe rivelarsi la soluzione più immediata al problema dell'intermittenza delle fonti rinnovabili: l'aria. In superficie, quando l'offerta di elettricità supera la domanda, potenti pompe elettriche iniettano aria ad alta pressione nel ventre della caverna. Quando invece la rete elettrica è a corto di energia, un po' di quell'aria compressa viene fatta uscire spingendo nel frattempo delle turbine elettriche. L'impianto pilota, gestito dalla PowerSouth Energy Cooperative, può produrre 110 megawatt per 26 ore, un periodo di tutto rispetto. È l'unico del suo genere negli Stati Uniti e funziona ormai da vent'anni, con discreto successo.

La PowerSouth ha scavato la caverna usando acqua per dissolvere lentamente un giacimento di sale, un metodo già usato per stoccare le riserve strategiche di petrolio del Governo federale. Un ostacolo pratico è che un gas si riscalda quando lo si comprime, e si raffredda quando lo si lascia espandere (come ci si accorge dal fatto che le bombolette spray diventano gelide durante l'uso). Di conseguenza, parte dell'energia impiegata nella compressione va inevitabilmente sprecata sotto forma di calore.

D'altro canto, quando l'aria viene rilasciata diventa così fredda da congelare tutto ciò che tocca, ivi comprese le enormi turbine elettriche. La soluzione adottata da PowerSouth è bruciare metano nelle turbine (metano che contribuisce alla produzione di energia). Dato che queste complicazioni limitano l'efficienza dello stoccaggio ad aria compressa, si stanno inventando alcune contromisure. Una possibilità sarebbe isolare termicamente la caverna, così che l'aria riscaldata durante la compressione resti calda. Come alternativa, il calore può essere trasferito a un apposito serbatoio termico, solido o liquido, da cui poi lo si potrebbe riestrarre nel momento in cui bisogna far riespandere l'aria per generare elettricità.

La SustainX, una startup del New Hampshire, ha sviluppato una tecnica in cui spruzza goccioline d'acqua nell'aria mentre la si comprime. L'acqua quindi si riscalda, e viene raccolta in un apposito bacino. Quando l'aria poi viene fatta riespandere, l'acqua viene nuovamente nebulizzata in modo da restuirle il calore che aveva accumulato. Gli ingegneri di SustainX hanno dimostrato il funzionamento di questa tecnica in un sistema che immagazzina l'aria in grandi tubi di metallo. Un'altra società, la General Compression di Newton, nel Massachusetts, sta sviluppando un sistema simile ma che pomperebbe l'aria sotto terra.

BATTERIE AVANZATE

SCALABILITÀ 3,6
ECONOMICITÀ 2,0
EFFICIENZA ENERGETICA 3,8

I PRO	I CONTRO
efficiente, affidabile	costoso

Secondo molti esperti, le batterie sarebbero il metodo ideale per stoccare energia. Sono facili da ricaricare, si accendono e si spengono all'istante e possono essere costruite di grandi dimensioni. Per servire i punti più remote della rete, già da decenni alcune aziende elettriche usano batterie convenzionali, comprese quelle a piombo-acido usate nelle auto. Alcuni hanno sperimentato batterie più avanzate, come quelle a sodio e zolfo liquidi. Ma prima che le batterie possano competere nello stoccaggio di energia su scala molto più vasta bisognerà che il loro costo si abbassi, e di parecchio. I costi principali di una batteria sono dettati dai materiali – gli elettrodi positivi e negativi e gli elettroliti che li separano – e dai costi di produzione. Riprogettare batterie da zero, anziché fare progressivi miglioramenti, potrebbe essere l'unico modo per tagliare davvero i costi.

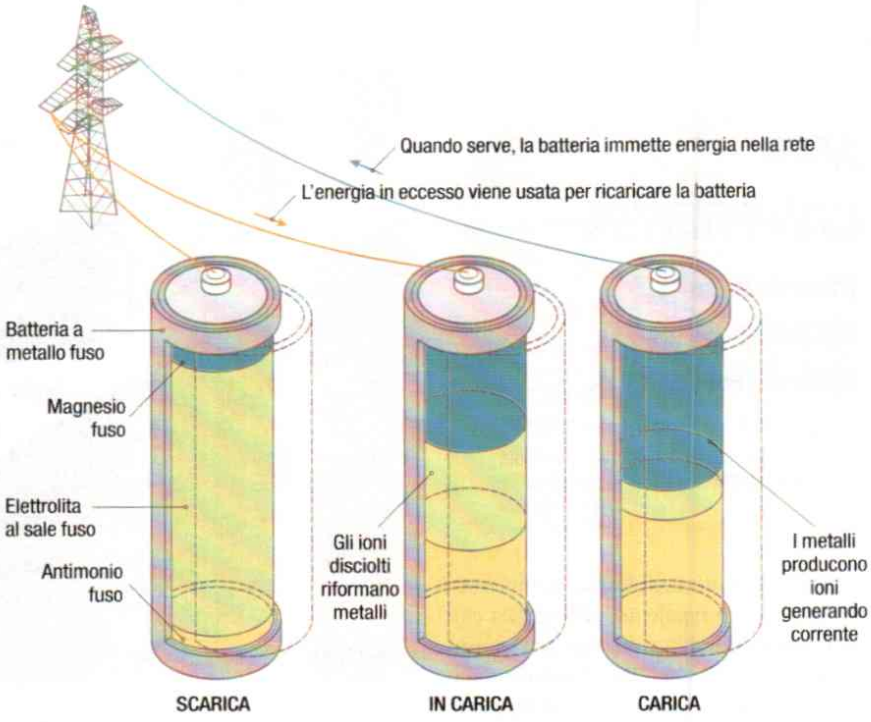
Donald R. Sadoway, un chimico del MIT, sta lavorando a un concetto di batteria piuttosto insolito, che ha chiamato batteria a metallo liquido. La sua magia risiede nella sua semplicità: è una cisterna cilindrica tenuta ad alta temperatura e riempita con due tipi di metallo fuso, separati da uno strato di un sale anch'esso fuso. I tre materiali non si mescolano tra loro («come l'olio con l'aceto», spiega Sadoway), e hanno densità diverse, così da suddividersi naturalmente in tre strati, uno sull'altro. Quando i due metalli vengono connessi tramite un circuito esterno sprigionano corrente elettrica. Ioni di ciascun metallo (gli uni positivi, gli altri negativi) si disciolgono di conseguenza nello strato di sale, che così inizia a ispessirsi, a spese degli strati superiore e inferiore, che si assottigliano. Per ricaricare la batteria si applica una corrente che inverte il processo, for-

zando gli ioni dissolti nel sale a tornare nei rispettivi metalli.

Finora Sadoway ha costruito un prototipo «grande come un cartone della pizza», ma ritiene che il concetto funzionerà in modo economicamente vantaggioso su scala molto più vasta, forse battendo perfino i costi dello stoccaggio idroelettrico, che si aggirano sui 100 dollari per chilowattora. Di questo, Sadoway non potrà esser certo fino a che non lo dimostra in pratica, ma ciò che lo fa ben sperare è che il suo sistema può essere costruito semplicemente versando i materiali in una cisterna, invece di richiedere una minuziosa cesellatura come le batterie più sofisticate.

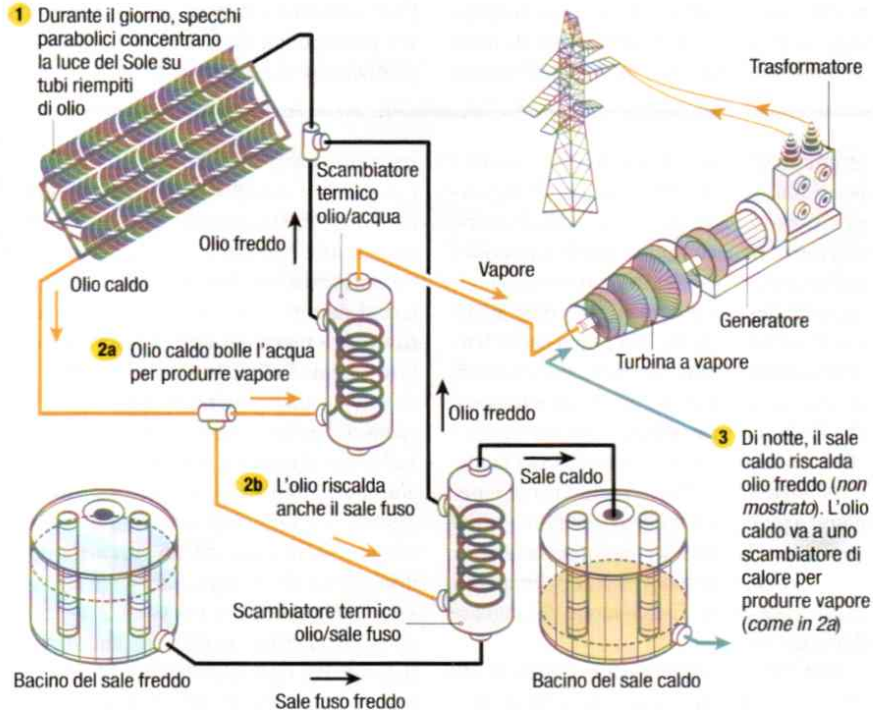
Un metodo che invece è già stato dimostrato su grande scala è quello delle batterie di flusso, in cui una membrana fa da elettrolita, separando due soluzioni a base d'acqua che svolgono il ruolo degli elettrodi. I due fluidi vengono fatti circolare e sono accumulati in grandi cisterne esterne. Le batterie di flusso sono simili, almeno nello spirito, a una tecnologia più recente soprannominata «il greggio di Cambridge», che si avvale di nanoparticelle sospese in un fluido.

Le batterie di flusso hanno vari vantaggi: funzionano a temperatura ambiente (a differenza delle batterie a metalli liquidi), e la loro capienza può essere aumentata semplicemente aggiungendo altre cisterne. Una startup chiamata VRB Power Systems ha installato batterie a flusso con soluzioni al vanadio in due piccoli stabilimenti, uno nello Utah e l'altro su un'isoletta dell'Australia. L'azienda è poi fallita per mancanza di domanda, ma è stata rilevata da una società più grande, che ora continua a svilupparne le tecnologie.



Anche altre società stanno cercando di perfezionare questo tipo di tecnologia, per esempio per rendere più efficiente il flusso di ioni attraverso la membrana. Mike Perry, ingegnere chimico della United Technologies Corporation di Hartford, nel Connecticut, rivela che la sua società sta investendo milioni di dollari in questo campo, e si dice fiducioso che entro cinque anni le batterie di flusso saranno in grado di competere con gli impianti a gas naturale, che finora sono stati la scelta obbligata per molte aziende elettriche che avevano bisogno di soddisfare i picchi di utenza.

Anche l'UTC si sta concentrando sul vanadio, che è un elemento relativamente abbondante e un prodotto secondario dell'estrazione del petrolio. La Energizer Resources di Toronto sta iniziando a sfruttare una miniera di vanadio in Madagascar che dovrebbe assicurarne la disponibilità a lungo termine.



SCORTE TERMICHE

SCALABILITÀ 3,6
ECONOMICITÀ 3,6
EFFICIENZA ENERGETICA 3,0

I PRO	I CONTRO
si può installare ovunque	costi alti, durata relativamente breve

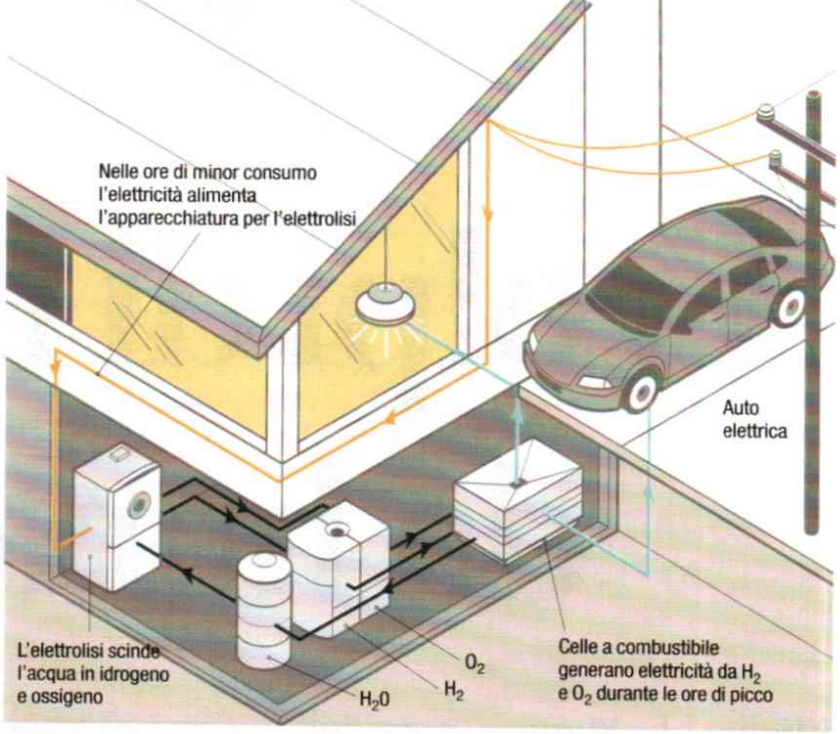
Dove il sole picchia con regolarità, gli impianti a concentrazione solare possono sia generare energia a buon mercato che catturarla per usarla più tardi. In un impianto di questo tipo, file di specchi parabolici focalizzano la luce su tubi che corrono al centro degli specchi stessi, riscaldando un liquido (per esempio un olio minerale) al

loro interno. L'olio scorre verso un impianto dove il calore viene usato per convertire acqua in vapore, che a sua volta fa girare una turbina per generare elettricità. L'olio, però, può anche essere immagazzinato con tutto il suo calore in apposite cisterne, per poi produrre elettricità dopo il tramonto.

Impianti a concentrazione solare sono in funzione negli Stati Uniti e in Europa, ma gran parte di essi è attiva solo di giorno. Per conservare l'energia più a lungo, la Archimede Solar Energy ha costruito a Siracusa un impianto di dimostrazione basato su sale fuso. Questo fluido può essere riscaldato fino a temperature di 550 gradi, a differenza dei 400 dell'olio minerale, cosa che gli permette di immagazzinare l'energia in modo più efficiente durante le ore notturne, sostiene Paolo Martini, un manager di Archimede. Cinque metri cubi di sale fuso conservano un megawattora di energia, la stessa quantità racchiusa in 12 metri cubi di olio minerale, secondo le stime della società, di cui il Nobel per la fisica Carlo Rubbia è stato un entusiasta sostenitore. Nel frattempo, in Spagna, nel giugno del 2011 un altro impianto a sale fuso ha raggiunto una tappa fondamentale, riuscendo a produrre per la prima volta energia solare per 24 ore di seguito.

L'elettricità degli impianti a concentrazione solare è tuttora piuttosto costosa, con un costo per chilowattora che è almeno il doppio di quello del gas naturale. Ma gli scenari di settore prevedono che i costi divengano competitivi entro dieci anni, grazie ad avanzamenti tecnologici – per esempio nella chimica del fluido riscaldato – e al raggiungimento di economie di scala. Per avere più chance di successo, gli impianti dovranno essere costruiti in zone a basse latitudini e dove le nuvole compaiono di rado, per esempio nel deserto del Sahara.

A prescindere dalla fonte di energia, il calore può comunque immagazzinarla. Per esempio si possono riscaldare fluidi come i sali fusi usando energia elettrica prodotta altrove da pale eoliche. E per accumulare energia termica si può usare anche il freddo. La Ice Energy, una startup di Windsor, nel Colorado, vende apparati che producono ghiaccio durante la notte, quando l'elettricità è abbondante. Nelle ore di sole, il ghiaccio viene sciolto per far funzionare un impianto di condizionamento. Alcuni utenti commerciali hanno iniziato a installare questi impianti con sovvenzioni delle aziende elettriche, a cui conviene tenere la domanda sotto controllo durante i giorni più caldi per evitare blackout.



IDROGENO FATTO IN CASA

SCALABILITÀ 2,2
ECONOMICITÀ 1,0
EFFICIENZA ENERGETICA 1,4

I PRO	I CONTRO
efficiente, leggero	richiederà materiali nuovi e rivoluzionari

Il sistema forse più ambizioso per stoccare energia trasformerebbe gli utenti domestici in produttori indipendenti di energia. Già da due secoli la scienza sa separare l'idrogeno e l'ossigeno che compongono le molecole di acqua facendoci scorrere una corrente elettrica: è il fenomeno chiamato idrolisi. Ricombinando i due gas, si può poi produrre di nuovo energia. La difficoltà consiste nel rendere entrambi questi processi – scomporre le molecole d'acqua e bruciare l'idrogeno – energeticamente efficienti, vale a dire riducendo il calore di scarto.

L'idrolisi sarebbe molto più efficiente se la si facesse direttamente con la luce solare, anziché con energia elettrica prodotta altrove. La natura lo fa da miliardi di anni nella fotosintesi. Le celle idrolitiche artificiali esistono da decenni, ma sono inefficienti e costose. Alcuni chimici, come Daniel Nocera del MIT e Nathan S. Lewis del California Institute of Technology, stanno lavorando a nuovi materiali (catalizzatori basati sul cobalto nel caso di Nocera, e bastoncini microscopici nel caso di Lewis) per aumentare l'efficienza, ma i costi rimangono alti.

A prescindere da come venga prodotto l'idrogeno, le difficoltà restano comunque enormi anche sul lato della riconversione. Le celle a combustibile ossidano l'idrogeno senza fiamma e con alta efficienza, ma tipicamente si basano su materiali catalitici costosissimi, come il platino. Una cella sufficiente a far funzionare un'automobile o a illuminare una palazzina può costare decine di migliaia di euro, per cui gli scienziati sono alla ricerca di materiali alternativi.

Anche immagazzinare l'idrogeno è un problema serio, perché il gas deve essere liquefatto o compresso, ed è ovviamente esplosivo. Ma se questi problemi verranno risolti un giorno ogni casa potrà avere produrre la propria energia e allo stesso tempo il carburante per l'auto di famiglia. Si avrebbe così l'avvento dell'economia dell'idrogeno.

PER APPROFONDIRE

Sustainable Energy-Without the Hot Air. MacKay D.J.C., UIT, Cambridge, 2009.

The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. Denholm P. e altri, National Renewable Energy Laboratory, gennaio 2010.

Integrating Renewable Electricity on the Grid. American Physical Society Panel on Public Affairs, American Physical Society, novembre 2010.

A colpi di mazza da hockey

Michael E. Mann, autore del grafico più famoso della scienza del clima ferocemente criticato dai negazionisti, si è appassionato alla lotta ed è deciso a mantenere il ruolo di comunicatore di verità scomode

Intervista di David Biello

La ragione della notorietà del climatologo Michael E. Mann è, nelle sue stesse parole, uno degli aspetti «meno interessanti» del suo lavoro. Negli anni novanta Mann usò dati ottenuti da anelli di accrescimento degli alberi, bande di crescita dei coralli e carote di ghiaccio come indicatori indiretti delle temperature del remoto passato, combinandoli con le moderne rilevazioni termometriche. Questo archivio delle variazioni delle temperature annuali dell'ultimo millennio aveva permesso di capire meglio i cicli climatici naturali. Una specie di «ripensamento» indusse Mann a inserire in uno studio pubblicato nel 1998 un grafico delle temperature medie nell'emisfero settentrionale che andava indietro nel tempo fino al 1400 (grafico in seguito esteso sempre da Mann fino all'anno 1000). Questa curva a forma di «mazza da hockey», che mostra le temperature oscillare ripetutamente per poi subire, in tempi recenti, un rapido aumento, è diventato un'icona del cambiamento climatico.

Il grafico è anche finito al centro di una controversia. Sebbene il National Research Council degli Stati Uniti abbia sottoposto la mazza da hockey a un riesame approfondito e ne abbia sottoscritto le conclusioni nel 2006, Mann e le sue ricerche hanno affrontato un esame pubblico insistente e spesso ostile, culminato nel Climategate del 2009, cioè nel furto e nella pubblicazione di sue e-mail personali e di quelle di suoi colleghi. Il datore di lavoro di Mann, la Pennsylvania State University, lo ha sottoposto a un'indagine con l'accusa di aver condotto le ricerche in modo scorretto (da cui lo ha scagionato nel 2010). Il procuratore generale della Virginia, Ken Cuccinelli, ha ingiunto all'Università della Virginia, presso cui Mann ha lavorato in precedenza, di sottoporre a indagini il lavoro compiuto dal climatologo in quella sede (al momento di andare in stampa il caso è ancora aperto). I detrattori, dice Mann, «non si fermano mai».

Adesso lo scienziato passa al contrattacco nel suo libro *The Hockey Stick and the Climate Wars*. Abbiamo parlato con Mann del suo lavoro, della relativa controversia e delle sue speranze di evitare un cambiamento climatico catastrofico.

Che cosa l'ha spinta a occuparsi dello studio del clima?

Una volta conseguita la laurea di primo livello in matematica e fisica applicata ho proseguito gli studi scegliendo fisica teorica. Quando mi sono reso conto che in questo campo le opportunità erano assai limitate ho cercato un settore in cui poter applicare la fisica e la matematica che avevo imparato a un problema di grande portata: qualcosa che avesse implicazioni nel mondo reale. Ho aperto il catalogo delle scienze applicate della Yale University e ho

IN BREVE

Chi
Michael E. Mann

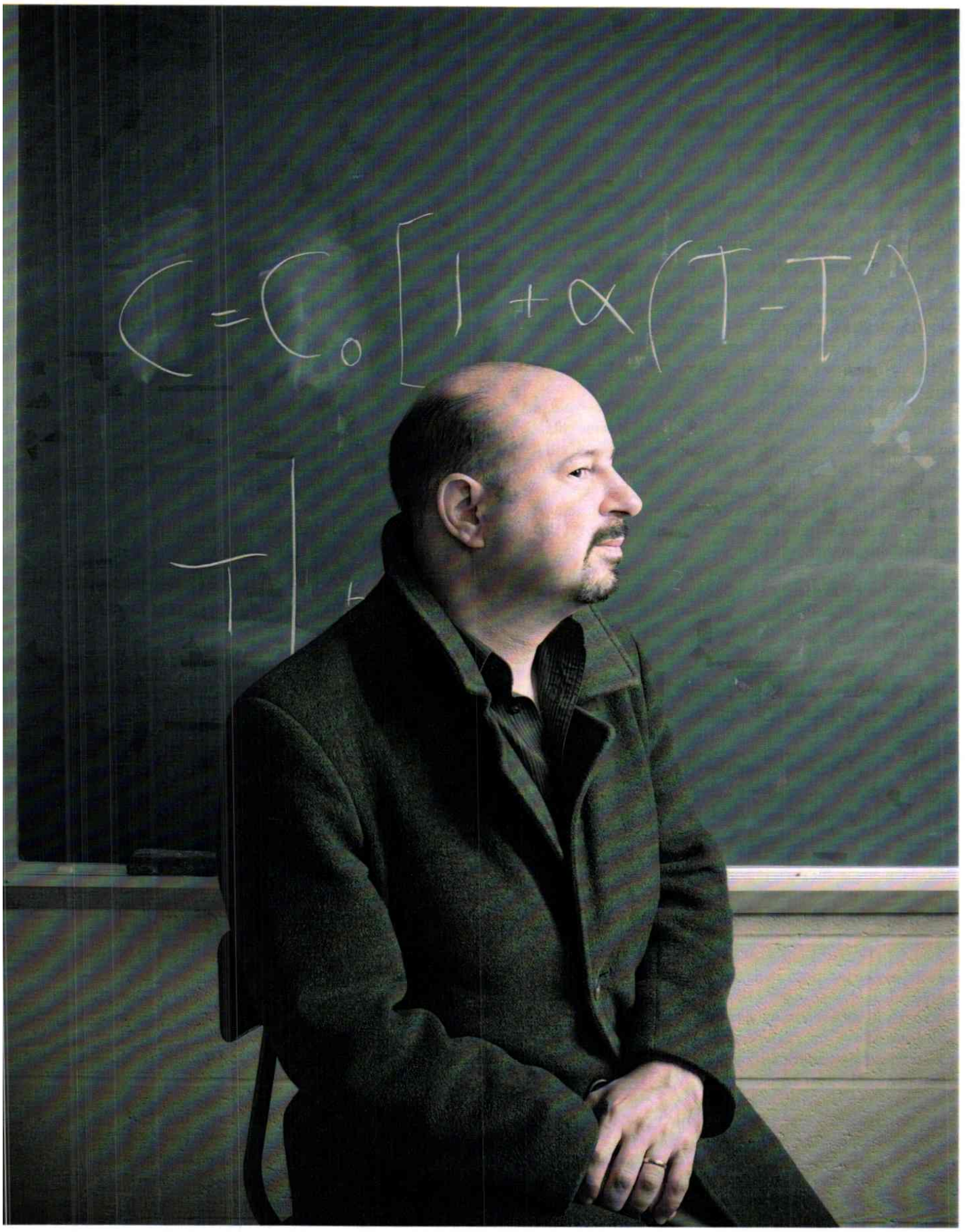
Professione/passione
Realizzazione di modelli climatici e flagello/bersaglio di chi nega che sia in corso un cambiamento del clima

Dove
Pennsylvania State University

Obiettivo delle sue ricerche
Migliorare i modelli climatici e la comunicazione delle ricerche sul clima

Descrizione complessiva
«Essere uno scienziato del clima oggi non è un lavoro d'ufficio. È un impegno 24 ore su 24»

Fotografie di Chris Crisman


C=C0[1+α(T-T'

trovato la sezione in cui era descritto parte del lavoro che le persone del Dipartimento di geologia e geofisica stavano facendo per sviluppare modelli teorici del sistema climatico. E mi è sembrato affascinante.

A quel tempo c'era un legittimo dibattito scientifico in cui si discuteva se fosse già stato realmente osservato o meno un cambiamento climatico provocato dall'uomo. Nei fatti, il mio lavoro aveva poco a che fare con quel dibattito.

In effetti, lei ha cominciato studiando la variabilità naturale delle temperature, vero?

Qui c'è qualcosa di ironico. Alcune mie prime ricerche sono state accolte con grande favore dai negazionisti del cambiamento climatico. È successo quando ho coniato il termine Oscillazione atlantica multidecennale (Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO). I negazionisti amano sostenere che questo fenomeno è responsabile praticamente di qualsiasi cosa, mentre la realtà è molto più sfumata. Queste oscillazioni sembrano verificarsi realmente, ma spiegano il cambiamento del clima.

Si può considerare l'AMO come una versione di el Niño, ma su tempi molto più lunghi. È un'oscillazione del sistema climatico che impiega diversi decenni per passare da una fase all'altra. È per questo, in effetti, che ho iniziato a interessarmi agli indicatori indiretti, come gli anelli di crescita degli alberi, perché se si cerca di evidenziare un'oscillazione con un periodo di 50-70 anni, e si hanno solo 100-150 anni di osservazioni strumentali, ovviamente ci saranno problemi.

Questi dati indiretti sono archivi naturali che registrano qualche caratteristica del clima. Per esempio, lo spessore degli anelli degli alberi è tanto più grande quanto più alta è la temperatura della stagione di crescita o, in alcuni casi, dell'umidità. Quindi potenzialmente si possono ottenere informazioni sul clima dagli anelli di accrescimento degli alberi.

Se si combinano le informazioni che provengono da un gran numero di indicatori indiretti, si ottiene un quadro più complessivo di quello che sta accadendo, e ci si protegge dal rischio che comporta l'affidarsi solo a un unico tipo di indicatori indiretti. Ognuno di essi, infatti, ha i suoi punti di forza e le sue debolezze.

Il prodotto più famoso di questo lavoro è stato, ovviamente, il grafico simile alla mazza da hockey. Come è stato ottenuto?

Questi termometri offerti dalla natura sono assai imperfetti. Probabilmente la sfida più importante era trovare un modo per collegare questa informazione estremamente rumorosa alle moderne registrazioni della temperatura di superficie, in un modo da poter poi stimare le temperature di superficie del globo indietro nel tempo. Solo l'osservazione degli andamenti relativi delle temperature nel mondo può permetterci di capire qualcosa, per esempio la storia di un fenomeno come el Niño.

La cosa meno interessante da fare con questi andamenti spaziali è la media di tutti i dati per ottenere un solo numero per anno – la temperatura media dell'emisfero settentrionale – e metterlo in un grafico, che è poi l'operazione da cui è venuta fuori la curva a mazza da hockey.

La temperatura a lungo termine è diminuita lentamente da quello che a volte è chiamato il «periodo caldo medievale», circa mille anni fa, fino alla «piccola era glaciale» del XVII, XVIII e inizi del XIX secolo. Questo, se vogliamo, è il manico della mazza.

Poi c'è un rapido aumento che va a disegnare la parte terminale della mazza da hockey: è il riscaldamento degli ultimi 150 anni, le cui temperature hanno superato tutti i valori precedenti che siamo stati in grado di ricostruire. E l'attenzione è andata solo a quest'unico risultato.

Chi è stato il primo a parlare di «mazza da hockey»?

Jerry Mahlmann, che allora dirigeva il Geophysical Fluid Dynamics Laboratory della National Oceanic and Atmospheric Administration di Princeton, New Jersey. In realtà questo termine era già stato usato nel contesto della riduzione dell'ozono atmosferico. C'era già qualche precedente per l'uso dell'espressione «a mazza da hockey» per descrivere una serie di dati in cui si va avanti tranquillamente per un bel po' e poi alla fine improvvisamente c'è un grande balzo.

È pentito di aver usato questo termine?

Quando si applica un termine semplice come questo a una cosa che in realtà è complicata c'è sempre il rischio di fare una caricatura della scienza. Oggi però di mazze da hockey ce ne sono tante da farci un campionato: una vera e propria serie di ricostruzioni analoghe alle nostre, tutte essenzialmente con lo stesso andamento.

Nel rapporto del 2001, il gruppo di esperti riunito dalle Nazioni Unite per occuparsi dei cambiamenti climatici, l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ha dato grande rilievo alla mazza da hockey. È stata una scelta saggia?

Con il senno di poi, probabilmente non è stata la decisione più saggia perché offriva il fianco proprio a una delle argomentazioni preferite degli negazionisti: quella secondo cui determinate conclusioni scientifiche in qualche modo dipenderebbero da un particolare studio, o addirittura da un particolare studio di un particolare autore. E quindi se si arriva in un modo o nell'altro a screditare quel particolare studio o quella persona, collassa l'intera costruzione scientifica.

In realtà, nel rapporto dell'IPCC c'erano state diverse ricostruzioni che raccontavano la stessa storia. Al momento della pubblicazione c'erano altre tre ricostruzioni che arrivavano più o meno alle stesse conclusioni.

Che effetto le fa essere definito il «capro espiatorio» delle scienze del clima?

A volte mi è venuto da dire: «Forza, fatevi sotto!». Ho molta fiducia nella robustezza scientifica del nostro lavoro. Se coloro che negano il cambiamento climatico credevano di aver trovato un'area scientifica da screditare prendendo di mira un singolo scienziato, cioè me, direi proprio che si sono illusi.

Alcuni dei messaggi di posta elettronica rubati nel 2009 erano suoi, anche se non erano i più controversi. Come è andata?

Come la prenderebbero le persone che hanno rubato queste e-mail e le hanno rese pubbliche, se qualcuno si impadronisse dei loro diari e delle loro comunicazioni private e le rivelasse, senza contesto alcuno, a tutto il mondo? Il fatto che i negazionisti del cambiamento climatico siano dovuti ricorrere ad attività criminali per cercare di screditare il nostro lavoro di scienziati da una parte mi ha riempito di disgusto e di rabbia. Inoltre credo che abbia fatto arrabbiare molti di noi che facciamo parte della comunità scientifica.

C'è stata una campagna organizzata che ha usato queste e-mail rubate per costruire una cassa di risonanza per la propaganda dei negazionisti subito prima del vertice di Copenhagen. C'è stato un

Indicatore indiretto del clima.
Archivi naturali, come gli anelli di accrescimento degli alberi, offrono indizi sul clima del passato.

tentativo di usare deformazioni della realtà, false accuse e forme di diffamazione basate su questi messaggi di posta elettronica estrapolati dal loro contesto per far cacciare degli scienziati.

A un certo punto un influente deputato repubblicano del Parlamento della Pennsylvania ha minacciato di revocare i finanziamenti alla Pennsylvania State University se l'ateneo non avesse agito contro di me in seguito alle pretese mancanze dedotte dalla deformazione di questi messaggi di posta elettronica rubati. È stata una cosa schifosa.

Abbiamo perso tre anni durante i quali avremmo potuto fare qualcosa sul cambiamento del clima, e questo è un enorme costo di opportunità. Ogni anno che aspettiamo, diventa molto più difficile stabilizzare la concentrazione di anidride carbonica a livelli più bassi rispetto a quelli che potrebbero essere pericolosi. Penso che il Climategate sia stato un crimine contro l'umanità. Di sicuro è un crimine contro il pianeta.

Come risponde a chi sostiene che è stato usato «un trucco per nascondere la diminuzione»?

Ci sono almeno cinque cose false in questa affermazione, la più ovvia è che nessuno ha mai parlato di «un trucco per nascondere la diminuzione». Sono state prese due parti diverse di un messaggio di posta elettronica mettendole insieme in un modo che stravolge il senso di ciò di cui si stava effettivamente discutendo.

L'aspetto particolarmente ironico dell'accusa di nascondere un declino delle temperature globali è che il messaggio è stato scritto all'inizio del 1999. Cioè subito dopo l'anno di gran lunga più caldo che avessimo mai visto, il 1998. Uno scienziato che scriveva una mail a un collega in quel momento, quindi, non poteva in alcun modo immaginare che ci fosse qualcosa di simile a una diminuzione. Casomai pareva essere in corso un'accelerazione del riscaldamento. «La diminuzione» si riferiva semplicemente a cattivi dati ottenuti da anelli di accrescimento di alberi.

Come si colloca l'opposizione alle scienze climatiche rispetto ad altre crociate antiscientifiche del passato?

Si fa fatica a credere che nel XXI secolo si debba ancora affrontare un rifiuto preconcetto della scienza, quando gran parte della vita moderna dipende in modo critico dall'infrastruttura tecnologica sviluppata proprio grazie alla scienza. Le stesse persone che denunciano quello che la scienza ha da offrire in diverse aree beneficiano dei contributi della scienza moderna.

Che effetto ha avuto tutto questo sugli scienziati?

Potrebbe aver incoraggiato altri ricercatori a combattere i tentativi disinformazione in atto nel nostro, ma anche in molti altri campi della scienza. Gli scienziati non possono più restarsene isolati nei loro laboratori, fiduciosi del fatto che l'impatto del loro lavoro filtrerà in modo onesto e produttivo nella discussione pubblica. È necessario che prendano l'iniziativa e si assicurino che la scienza che producono sia comunicata nel modo più accurato possibile.

Qualche commento sul procedimento legale intentato contro di lei e l'Università della Virginia?

È davvero una sciagura il fatto che persone di idee antiscientifiche, e che guardano con sufficienza alla scienza, in questo paese possano arrivare ai massimi livelli di governo. È una cosa che fa davvero paura.

Che ruolo ha la politica nella scienza?

È del tutto appropriato che la scienza informi le persone su questioni di natura politica. Ma è sbagliato lasciare che le proprie posizioni politiche influenzino il modo in cui si fa scienza.

Anni fa i cambiamenti climatici non erano una questione politica. Lo esprime molto bene il mio collega glaciologo dell'Ohio State University Lonnie Thompson quando parla della perdita dei ghiacciai montani. Il ghiaccio non ha programmi da realizzare. Non importa se uno è repubblicano o democratico. Il ghiaccio si sta ritirando, il livello dei mari sta salendo. Queste cose non si verificano per ragioni politiche. Quello che poi noi facciamo in materia è, ovviamente, una questione politica.

È esatto dire che gli impatti dei cambiamenti climatici si stanno verificando più in fretta di quanto era stato previsto?

I cambiamenti hanno iniziato a verificarsi più rapidamente di quanto mostravano le proiezioni dei modelli. Sia per la crescita del livello dei mari, sia per i cambiamenti delle temperature, sia per le emissioni di carbonio, praticamente in tutti i casi, i cambiamenti che si sono verificati sono stati o all'estremo superiore delle proiezioni o addirittura al sopra della gamma delle proiezioni.

Il ghiaccio marino dell'Artico è forse l'esempio più profondo. La diminuzione del ghiaccio marino artico estivo è largamente al di fuori dell'intervallo indicato dalle proiezioni. L'aspetto ironico è che casomai gli scienziati che studiano il clima sono stati troppo prudenti e troppo attenti a non esagerare.

Lei dice di avere ancora speranza. Perché?

Se guardiamo alla storia, alla fine la scienza e l'onestà hanno sempre vinto, magari più tardi di quanto ci sarebbe piaciuto. Abbiamo agito più tardi di quanto avremmo dovuto nel caso del tabacco. Abbiamo agito più tardi del giusto nel caso del consumo dello strato di ozono e del bando dei clorofluorocarburi. Verosimilmente abbiamo subito danni e perdite di vite umane assai peggiori per aver tardato ad agire. Però abbiamo agito. ■

PER APPROFONDIRE

Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years. National Research Council, giugno 2006. **www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=11676.**

Dire Predictions: Understanding Global Warming. Mann M. e Kump L., Prentice Hall, 2008.

The Hockey Stick and the Climate Wars. Mann M., Columbia University Press, 2012.

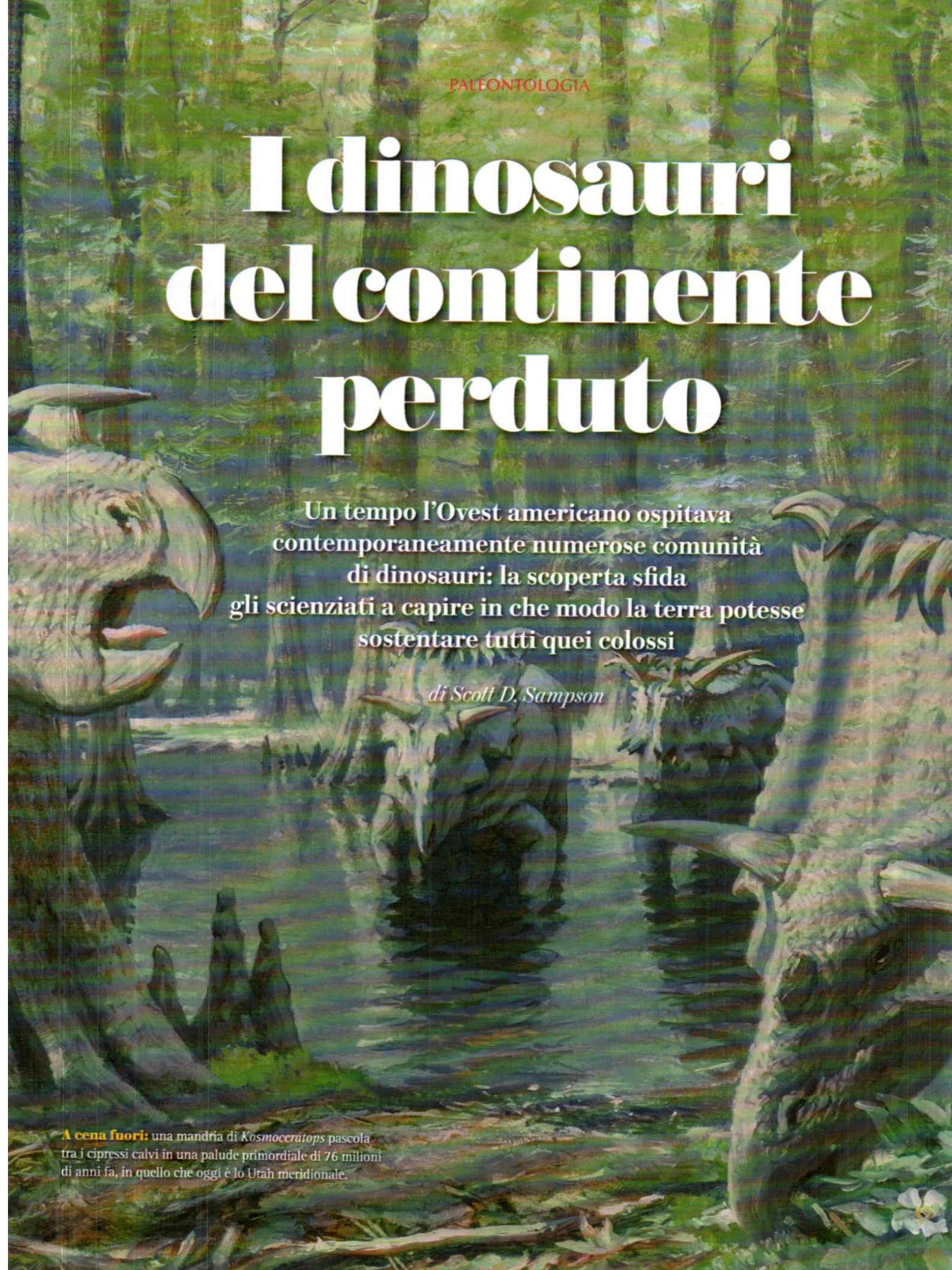
GURNEY

PALEONTOLOGIA

I dinosauri del continente perduto

Un tempo l'Ovest americano ospitava contemporaneamente numerose comunità di dinosauri: la scoperta sfida gli scienziati a capire in che modo la terra potesse sostentare tutti quei colossi

di Scott D. Sampson



A cena fuori: una mandria di *Kosmoceratops* pascola tra i cipressi calvi in una palude primordiale di 76 milioni di anni fa, in quello che oggi è lo Utah meridionale.

Scott D. Sampson, paleontologo specializzato in dinosauri, lavora come ricercatore e curatore allo Utah Museum of Natural History. Dal 2000 a oggi ha condotto operazioni di scavo di fossili risalenti al Cretaceo superiore nel Grand Staircase-Escalante National Monument, nello Utah.

In una fresca mattina del settembre 2010 io e la mia squadra cominciammo la nostra discesa quotidiana dal campo base alla notte dei tempi, camminando in fila indiana lungo un crinale di arenaria e micrite, ripido e affilato, del Grand Staircase-Escalante National Monument, nello Utah meridionale. Ciascuno di noi portava acqua, un taccuino, il pranzo, un martello da geologo e altri utensili. Le attrezzature e i materiali più pesanti – tagliatrici da roccia, picconi, vanghe, sacchi di gesso e fasce di tessuto – ci aspettavano al sito di scavo, a 800 metri di distanza. Perfino dalla cima si vedevano facilmente gli involucri di gesso giù nella cava, come pennellate di alabastro in un panorama desolato di calanchi aridi a strisce grigie. Alcuni di questi blocchi irregolari erano poco più grandi di uno sfilatino. Altri misuravano intorno ai tre metri e pesavano oltre una tonnellata. Tutti contenevano i resti ossei di animali che coesistevano nella zona 76 milioni di anni fa.

In due stagioni di scavo, quest'unica cava – una delle tante tra le rocce ricche di fossili nella formazione di Kaiparowits – aveva fornito una straordinaria serie di fossili, tra cui vari dinosauri. Il più spettacolare era uno scheletro quasi completo di *Gryposaurus*, un enorme erbivoro a becco d'anatra grande quasi come un *T. rex*. Ora la squadra era sotto pressione per riuscire a finire di estrarre i fossili restanti prima che, entro qualche giorno, arrivasse l'elicottero per portare questo carico dal valore inestimabile fino a una strada vicina. Da lì i fossili avrebbero proseguito in camion il viaggio verso il Natural History Museum of Utah, a Salt Lake City, dove volontari qualificati avrebbero aperto accuratamente gli involucri, per poi togliere la roccia e incollare le ossa, lavorando per mesi e mesi.

Mentre sostavo su una sporgenza di arenaria per ammirare quel panorama sconfinato, immaginai per l'ennesima volta che aspetto potesse avere il luogo ai tempi di quei dinosauri. All'epoca, gran parte del territorio era costituito da un'immensa pianura alluvionale sommersa dall'acqua. Diversi fiumi scorrevano lentamente dalle montagne verso ovest, formando meandri in un paesaggio verdeggiante punteggiato di stagni e piccoli laghi. Nelle pianure paludose crescevano cipressi calvi, mentre gli ambienti più secchi ospitavano foreste di conifere e alberi con fiori. I rampicanti coprivano i rami degli alberi e l'aria umida era riempita dal ronzio degli insetti.

Lo scenario poteva ricordare le paludi dell'odierna Louisiana

IN BREVE

Tra 90 e 70 milioni di anni fa, durante il Cretaceo superiore, un mare poco profondo ricopriva la zona centrale del Nord America, dividendola in una parte orientale e una occidentale. Gli scienziati chiamano quest'ultima Laramidia.

Negli anni ottanta un ricercatore ipotizzò che, per vari milioni di anni, nelle regioni settentrionali e meridionali della Laramidia convivessero vissuto comunità di dinosauri separate. L'ipotesi della coesistenza di così tanti grandi animali in un territorio relativamente piccolo fu però criticata.

Ma nell'ultimo decennio le scoperte hanno rafforzato l'idea, rivelando numerose specie ancora sconosciute, tra cui molte giganti.

Che cosa permettesse a così tanti colossi di convivere in un'area così piccola non è ancora chiaro; può darsi che i dinosauri avessero un fabbisogno energetico minore rispetto ai grandi animali terrestri di oggi, o che le piante del Cretaceo superiore fossero più nutrienti.

James Gurney (tutte le illustrazioni salvo diversa indicazione)

Un percorso in salita: i membri della squadra dell'autore scalano un crinale uscendo dai calanchi di Kaiparowits nel Grand Staircase-Escalante National Monument (1), nello Utah, dove hanno scoperto i resti di varie nuove specie di dinosauri. I fossili come questo teschio di *Kosmoceratops* vengono portati al Natural History Museum dello Utah, dove i volontari li puliscono e li ricompongono (2). Tra le specie rinvenute in quell'area si trova un altro dinosauro cornuto, detto *Utahceratops* (3).

Rick Wicker, Denver Museum of Nature and Science (*formazione di Kaiparowits*); per gentile concessione di Mark Loewen, Museo di storia naturale dello Utah (*teste di dinosauro*)

settentrionale, con in più oltre una dozzina di specie di dinosauri, dagli erbivori come gli adrosauri a becco d'anatra e i dinosauri cornuti (detti ceratopsidi) ai carnivori come i dromeosauri con artigli falciformi e un tipo di tirannosauro gigante.

Nel corso dell'ultimo decennio i nostri scavi in questa regione sperduta hanno aperto una finestra affascinante sulle numerose specie di dinosauri vissute durante il cosiddetto stadio campaniano del Cretaceo superiore, tra 83,5 e 70,6 milioni di anni fa, forse l'epoca di massimo splendore dei dinosauri.

In un certo senso, l'insieme dei fossili di Kaiparowits non è niente di eccezionale, dato che conserva gli stessi ampi gruppi di dinosauri ritrovati in sedimenti altrettanto antichi più a nord, in Alberta (Canada) e in Montana. Tuttavia, quelle particolari specie scoperte nella formazione di Kaiparowits sono uniche, dato che molte sono gigantesche: questi ritrovamenti ci costringono a riconsiderare gran parte di ciò che pensavamo di sapere sull'evoluzione e l'ecologia dei dinosauri.

Sud contro Nord

Durante il Cretaceo superiore, la Terra era come una serra caldissima. Le regioni polari non avevano calotte di ghiaccio e il livello globale del mare tendeva a essere eccezionalmente alto. Un mare caldo e salato, il cosiddetto Mare Interno Occidentale, copriva la regione centrale del Nord America, collegando l'Oceano Artico con il Golfo del Messico e dividendo il continente in una parte orientale e una occidentale, dette rispettivamente Appalachia e Laramidia. I dinosauri, le piante e gli altri organismi che abbiamo scoperto nella formazione di Kaiparowits vivevano in Laramidia, un territorio grande meno di un quinto del continente.

A partire dagli anni sessanta, i cacciatori di fossili che lavoravano nelle regioni occidentali interne del Nord America cominciarono ad accorgersi che i dinosauri del Cretaceo superiore scoperti in Montana e Alberta appartenevano a specie diverse rispetto a quelli trovati in rocce quasi contemporanee in zone più a sud, come New Mexico e Texas. Negli anni ottanta, Thomas Lehman della Texas

Tech University elaborò schematicamente la distribuzione geografica di dinosauri e altri vertebrati in Laramidia, scoprendo prove di raggruppamenti diversi a nord e a sud negli ultimi 15 milioni di anni del Cretaceo, compreso lo stadio campaniano. In mancanza di qualsiasi indizio di un ostacolo fisico alla dispersione nord-sud, Lehman ipotizzò che un gradiente climatico latitudinale avesse creato comunità diverse di piante e animali, tra cui un gruppo di grandi dinosauri. La sua era una teoria audace. Altri ricercatori ritenevano poco probabile che nel piccolo continente della Laramidia fossero coesistite più comunità di dinosauri. Non sembrava possibile che una varietà di giganti avesse potuto dividersi un terreno così esiguo.

Chi criticava l'ipotesi di Lehman osservava che la parvenza di regionalismo poteva essere dovuta a una raccolta di fossili non uniforme nel tempo. Dato che il Cretaceo superiore è durato molti milioni di anni, si affermava, forse i paleontologi impegnati a diverse latitudini nell'ovest nordamericano avevano sostanzialmente «viaggiato nel tempo» a intervalli diversi. Una raccolta di campioni sbilanciata nel tempo poteva quindi dare l'impressione di diverse comunità di animali contemporanee, benché in un singolo momento geologico in Laramidia fosse esistito un solo tipo di dinosauri. In alternativa, osservavano gli scettici, comunità di dinosauri apparentemente diverse potevano risultare da una scarsa distribuzione geografica dei campioni. Fino a poco tempo fa i dinosauri della Laramidia provenivano per la massima parte dal nord, in particolare da Alberta e Montana. Forse una più ampia raccolta di campioni nel sud avrebbe rivelato l'esistenza di un'unica comunità ampiamente diffusa. Questi interrogativi erano ancora senza risposta nel 2000, quando io e i miei colleghi cominciammo il nostro lavoro nello Utah meridionale.

In base agli standard attuali, la presenza contemporanea di così tante specie di giganti è molto inconsueta

I fossili che abbiamo scoperto nel Grand Staircase-Escalante permettono in larga misura di colmare la carenza di informazioni sui dinosauri della Laramidia meridionale, avvalorando la teoria di Lehman. La datazione dei fossili è stata fondamentale per stabilire se a nord e a sud esistessero comunità di dinosauri contemporanee e distinte. Il geologo della squadra, Eric Roberts, della James Cook University, ha scoperto strati di cenere vulcanica sparsi dappertutto nella formazione di Kaiparowits, ed è riuscito a datarli con tecniche radiometriche. I risultati hanno indicato che questa importante zona calda, ricca di fossili, si è formata nel corso di un milione di anni, tra 76,5 e 75,5 milioni di anni fa. Il confronto tra la datazione di queste ceneri e di quelle provenienti da altre formazioni in Laramidia ha dimostrato che la formazione di Kaiparowits era sostanzialmente contemporanea a quella di Dinosaur Park, in Alberta. Ora avevamo prove solide che a nord e a sud erano vissuti allo stesso tempo almeno due gruppi di dinosauri.

Il passo successivo consisteva nel valutare se i dinosauri stessi fossero diversi tra nord e sud. Finora abbiamo dissotterrato 15 varietà risalenti a quell'intervallo di un milione di anni, una decina delle quali abbastanza complete da permettere di identificare la specie. Solo una – un adrosauro a becco d'anatra del genere *Gryposaurus* – forse era presente anche più a nord. Questa specie sembra molto simile al *G. notabilis* dell'Alberta, ma al momento l'identificazione è incerta, e sono in corso ricerche per valutare se la nostra sia una specie diversa.

A parte questo singolo dubbio, il quadro che emerge è chiaro. Tra le specie di dinosauri finora identificate nella formazione di Kaiparowits, tutte le altre sono diverse da quelle scoperte più a nord. Quando nell'antico Utah si aggiravano carnivori medio-piccoli come l'oviraptorosauro *Hagryphus* e il troodontide *Talos*, in Alberta gli stessi gruppi erano rappresentati, rispettivamente, da *Chirostenotes* e *Troodon*. Allo stesso modo, mentre il *Teratophoneus*, un tirannosauro di grandi dimensioni col muso corto, era il carnivoro terrestre al vertice della regione dello Utah, a nord questo ruolo era svolto da altri tirannosauri, come il *Gorgosaurus*.

Gli erbivori della formazione di Kaiparowits sono a loro volta diversi dalle forme presenti a nord. Uno di questi è il *Parasaurolophus*, un curioso adrosauro con una lunga cresta tubolare sulla testa. In precedenza sono state scoperte tre specie di *Parasaurolophus*, una in Alberta e due nel New Mexico; sembra che la specie dello Utah sia una novità. Tra i ceratopsidi si ripete lo stesso schema. Un tipo di ceratopside che di recente abbiamo chiamato *Utahceratops* ha un teschio con un ampio collare, lungo circa due metri. Il teschio di una seconda specie dal collare più corto, *Kosmoceratops*, è estremamente elaborato: sulla testa presenta 15 corna, più di qualsiasi altro dinosauro. Mentre *Utahceratops*, *Kosmoceratops* e un terzo ceratopside (ancora senza nome) brucavano l'erba nello Utah, più a nord pascolavano altre specie di dinosauri cornuti.

Il raggruppamento di dinosauri scoperto recentemente nella formazione di Kaiparowits, nel Grand Staircase-Escalante, costituisce di gran lunga la prova più solida che in Laramidia esistessero comunità di dinosauri isolate. Benché gli stessi grandi raggruppamenti di dinosauri si presentassero sia a nord sia a sud, le specie settentrionali e quelle meridionali erano diverse. Delle oltre 50 specie di dinosauri risalenti al campaniano trovate in numerose formazioni, finora nessuna è stata localizzata con sicurezza sia a nord sia a sud. Queste scoperte escludono la possibilità che la differenza tra gruppi settentrionali e meridionali derivi solo da una raccolta di campioni incompleta sotto l'aspetto temporale o geografico. Dobbiamo invece fare i conti con il fatto che per circa un milione di anni, nel tardo stadio campaniano, in questo continente siano coesistite almeno due comunità di dinosauri.

Terra di giganti

C'è un ulteriore aspetto che infittisce il mistero della Laramidia: molti dinosauri di queste due comunità erano giganti. Gli studi sui mammiferi terrestri attuali dimostrano un forte legame tra le massime dimensioni corporee e l'area territoriale. Gli animali più grandi tendono a occupare spazi più ampi, sia come individui sia come specie, perché hanno bisogno di un'area maggiore per trovare cibo a sufficienza.

Per lo stesso motivo, le specie con aree vitali più estese tendono ad avere una minore densità di popolazione. Nelle specie di mammiferi terrestri giganti, quindi, la massima grandezza riflette un equilibrio: la densità di popolazione deve essere da un lato abbastanza bassa da evitare lo sfruttamento eccessivo delle risorse alimentari, e dall'altro abbastanza alta da evitare l'estinzione. In ultima analisi, tra i grandi vertebrati i limiti superiori sia delle dimensioni corporee, sia della diversità di specie, sono determinati da una combinazione di fisiologia (un metabolismo più rapido richiede più alimenti), disponibilità di cibo e area territoriale, con aree più estese che danno sostegno a più specie di grandi dimensioni. Que-

La diversità dei dinosauri

Tra 90 e 70 milioni di anni fa circa, durante il Cretaceo superiore, un mare interno isolava la parte occidentale dell'attuale Nord America, trasformandola in un territorio a sé, detto Laramidia. Già tempo fa alcuni ricercatori avevano osservato che la Laramidia settentrionale e quella meridionale sembravano aver ospitato comunità distinte di dinosauri e di altri animali, ma era stato obiettato che fosse dovuto a una raccolta di campioni non uniforme nel tempo e nello spazio.

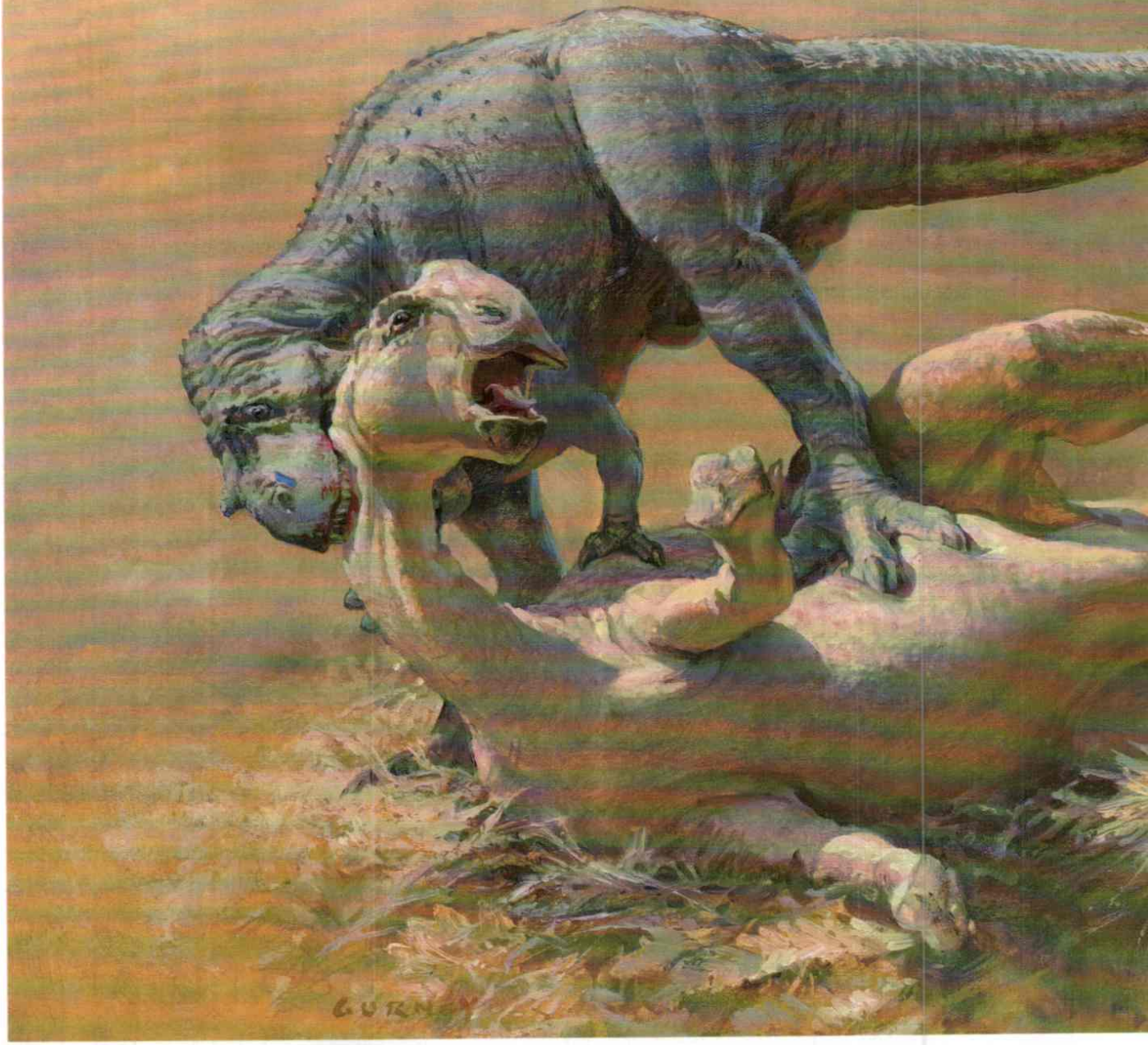
I fossili scoperti di recente nella formazione di Kaiparowits, nel Grand Staircase-Escalante National Monument, hanno svelato un insieme di specie di dinosauri vissuti contemporaneamente a un altro gruppo più a nord, avvalorando la teoria delle diverse comunità in Laramidia meridionale e settentrionale. La natura della barriera che separava questi dinosauri tra nord e sud è ancora ignota. Nella cartina sono indicati alcuni dei dinosauri cornuti (rappresentati con i rispettivi crani) di questi raggruppamenti a nord e a sud.

George Retseck; adattato da Ron Blakey, Northern Arizona University

sto rapporto determina le maggiori esigenze per i grandi carnivori, che devono mantenere un'area vitale relativamente ampia rispetto agli erbivori, perché solo una minima parte del bilancio energetico totale di un ecosistema raggiunge il vertice della catena alimentare.

In teoria, i dinosauri giganti avrebbero dovuto seguire un modello simile a quello dei grandi mammiferi terrestri di oggi, ed essere presenti con poche specie in Laramidia, relativamente piccola. Eppure, considerate nel loro insieme, le comunità rappresentate nelle formazioni di Kaiparowits e Dinosaur Park contengono da 17 a 20 specie contemporanee di dinosauri giganti (in cui cioè gli adulti superavano la tonnellata), molte delle quali oltre le due tonnellate di peso. In base agli standard attuali, questo scenario è del tutto inconsueto. Oggi l'unico luogo sulla Terra con un'abbondanza di giganti è l'Africa, che ospita sei mammiferi con una massa media superiore alla tonnellata, tutti erbivori: la giraffa, l'ippopotamo (che trascorre più tempo in acqua dolce che sulla terra), due specie di elefanti e due di rinoceronti.

È vero che l'Africa e alcuni altri continenti, in passato, ospitavano molte più specie terrestri giganti. Per esempio nel Pleistocene inferiore, tra 2,5 e 2 milioni di anni fa, in Africa vivevano intorno



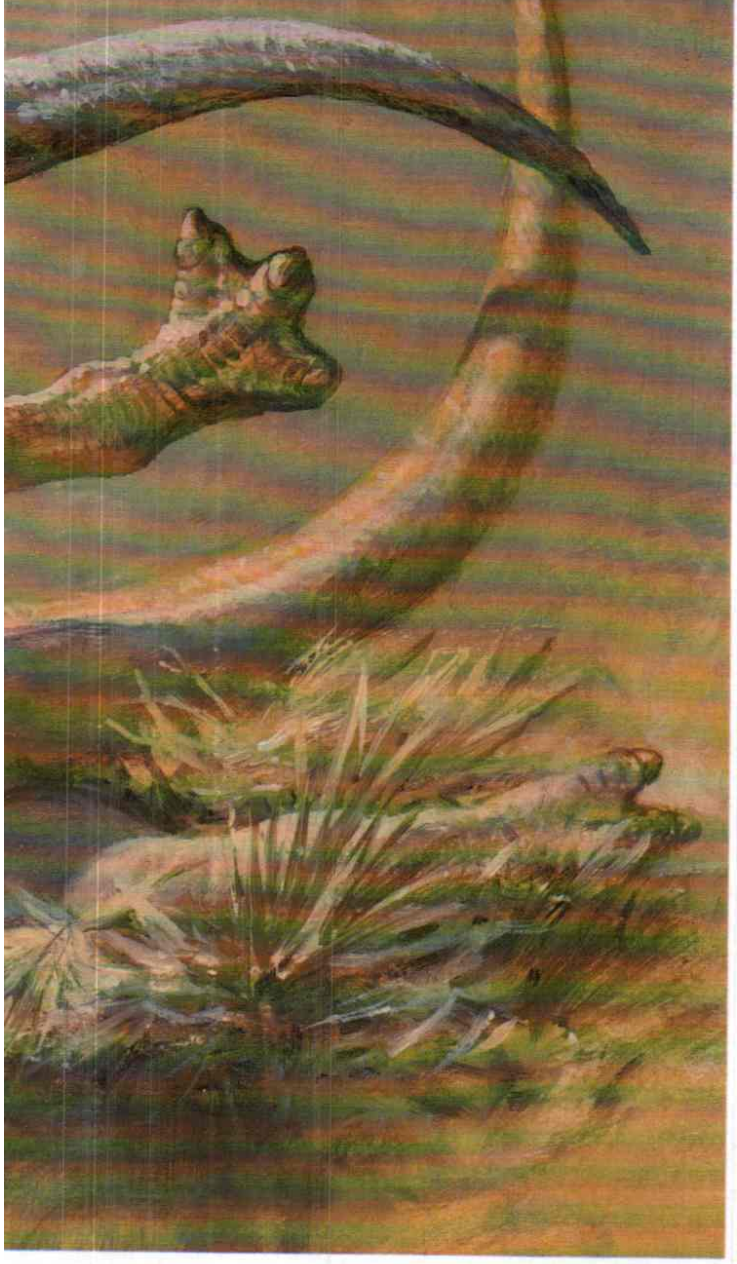
a 16 mammiferi megaerbivori: numerose varietà di giraffe, elefanti, ippopotami e rinoceronti, oltre a vari tipi di grandi antilopi vicine alla tonnellata di peso.

Tuttavia, parecchie prove indicano che l'esempio dei dinosauri in Laramidia è un caso eccezionale. In primo luogo, la Laramidia era grande meno di un quinto rispetto all'Africa del Pleistocene, e quindi questi 17-20 colossali dinosauri erano confinati in un'area molto più piccola rispetto a quella dei mammiferi. Inoltre, numerose prove ritrovate nei «cimiteri» di dinosauri, o letti di ossa, indicano che molte specie di adrosauri e ceratopsidi si radunavano, almeno per un certo periodo di ogni anno, in grandi mandrie di centinaia (o forse migliaia) di esemplari. In secondo luogo, gli ecosistemi dominati dai mammiferi, dal Pleistocene in poi, presentano pochi carnivori terrestri vicini alla tonnellata di peso. Anzi, l'evoluzione dei mammiferi terrestri non ha ancora prodotto carnivori di dimensioni anche solo paragonabili a quelle di un tirannosauro.

Il più grande predatore africano, il leone, in genere non supera i 270 chilogrammi; in Laramidia invece vivevano almeno tre tirannosauri giganti, tutti evidentemente oltre la tonnellata. Il terzo fattore è che, mentre i paleontologi hanno scoperto fossili del Pleistocene inferiore in numerosi paesi africani, la raccolta attuale di campioni in Laramidia si limita a due formazioni geologiche contemporanee. Poiché sembra che i dinosauri della Laramidia avessero una distribuzione della specie nettamente inferiore rispetto agli attuali mammiferi terrestri, con una sovrapposizione minima tra comunità concorrenti, appare molto probabile che in questo continente durante il Campaniano vivessero altri dinosauri. In questo caso, il totale dei giganti vissuti contemporaneamente in Laramidia potrebbe essere molto superiore alle 20 specie. In breve, le nuove prove nella formazione di Kaiparowits fanno ritenere che, in termini di abbondanza delle grandi specie, i dinosauri superassero i limiti che conosciamo nei mammiferi.

Dinosauri a basso consumo o piante ad alto rendimento?

Il confronto tra i mammiferi giganti africani e i dinosauri della Laramidia ci riporta alla scottante domanda stimolata dall'ipotesi di Lehman. Come è possibile che in un'area così piccola si concentrasse una simile varietà di grandi dinosauri? Restano principalmente due spiegazioni: o questi dinosauri avevano un minore fabbisogno alimentare rispetto ai grandi animali terrestri di oggi, oppure gli ambienti che popolavano producevano più cibo di quelli attuali.



Istinto assassino. Un *Teratophoneus*, una specie di tirannosauro, attacca un adrosauro a becco d'anatra detto *Gryposaurus*. I resti di queste due specie di dinosauro sono stati scoperti nel Grand Staircase-Escalante National Monument, in sedimenti che risalgono a circa 76 milioni di anni fa.

Si discute da tempo se il metabolismo dei dinosauri fosse più simile a quello degli ectotermi a sangue freddo (come anfibi e rettili) o degli endotermi a sangue caldo (come uccelli e mammiferi). Se la velocità del loro metabolismo era una via di mezzo tra questi gruppi, e determinava un fabbisogno energetico minore rispetto a quello dei grandi mammiferi, questa differenza potrebbe contribuire a spiegare come in un continente relativamente piccolo potessero coesistere tante specie di grandi dimensioni. Recenti ricerche di Brian K. McNab, dell'Università della Florida, avvalorano questa idea di un «compromesso»: né a sangue freddo, né a sangue caldo, bensì una via di mezzo. McNab ha scoperto svariati indizi secondo cui il minore dispendio energetico dei dinosauri potrebbe avere permesso alle loro comunità di sostentare biomasse fino a cinque volte più grandi dei mammiferi erbivori nell'Africa attuale.

In alternativa, può darsi che le piante del Cretaceo superiore, rispetto agli ecosistemi terrestri di oggi, offrissero ai megaerbivori un'alimentazione più abbondante o più nutriente, o entrambe. La diversità e l'abbondanza delle piante sono determinate da piogge, temperatura, lunghezza della stagione di crescita e disponibilità di habitat. Oggi la massima diversità e biomassa dei vegetali sono tendenzialmente ai tropici, ma in un'epoca calda come il Cretaceo superiore le alte temperature potrebbero avere ridotto la diversità di piante e animali intorno all'equatore. A latitudini medie come quelle di gran parte della Laramidia, invece, c'era un clima mite con una stagione di crescita lunga. A ovest, le catene montuose e i fiumi della Laramidia aumentavano il numero di nicchie disponibili. A est, il Mare Interno Occidentale mitigava le temperature e al tempo stesso permetteva abbondanti precipitazioni. Ian Miller e Kirk Johnson, del Denver Museum of Nature and Science, hanno finora scoperto negli strati della formazione di Kaiparowits quasi 100 diverse varietà di piante. Anche se la strada è ancora lunga, tutto lascia intendere che le comunità di dinosauri in Laramidia si basassero su una notevole abbondanza e diversità di vegetali.

Serviranno studi ulteriori per stabilire se le dimensioni gigantesche e la varietà di specie fossero rese possibili da un metabolismo più lento o da una maggiore ricchezza di cibo. La mia impressione è che entrassero in gioco entrambi i fattori. Ciò di cui siamo sicuri è che il mondo torrido dei dinosauri era nettamente diverso da quello di oggi. Parecchi dei principali biomi della Terra attuale, molto più fredda (per esempio prateria, tundra e foreste pluviali), non esistevano all'epoca dei dinosauri, e siamo ancora alla ricerca di conoscenze anche solo approssimative dei loro predecessori nel mondo torrido. Per fortuna la paleontologia sta diventando sempre più interdisciplinare – grazie alla collaborazione con geologi, paleoecologi e paleoclimatologi, per fare solo qualche esempio – e questo facilita l'emergere di intuizioni fruttuose.

Intanto il nostro lavoro nella formazione di Kaiparowits, come ogni ricerca scientifica degna di questo nome, oltre a dare risposte crea ulteriori domande. Quante diverse comunità di dinosauri esistevano allo stesso tempo nel continente perduto della Laramidia? Che tipo di barriera separava le comunità settentrionali da quelle meridionali? Questo confine si basava solo sulla variazione climatica tra nord e sud, come si pensava inizialmente? O, come ipotizzano ora alcuni geologi, esisteva qualche barriera fisica, magari una serie di grandi fiumi che scorrevano dalle montagne al mare, alla latitudine dello Utah settentrionale e del Colorado?

E c'è un'ultima, stimolante conseguenza degna di nota: se si scoprisse che i dinosauri tendevano ad avere una distribuzione della specie molto minore rispetto ai mammiferi di pari grandezza, l'abbondanza delle specie di dinosauri a livello globale potrebbe essere molto maggiore di quanto si credesse. In altre parole, probabilmente sono ancora sepolti moltissimi altri dinosauri, bizzarri e splendidi, che aspettano pazientemente di essere scoperti. ■

PER APPROFONDIRE

Dinosaurs, Dragons, and Dwarfs: The Evolution of Maximal Body Size. Burness G.P., Diamond J. e Flannery T., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 98, n. 25, pp. 14518-14523, 4 dicembre 2001.

Resources and Energetics Determined Dinosaur Maximal Size. McNab B.K., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 106, n. 29, pp. 12184-12188, 21 luglio 2009.

Dinosaur Odyssey: Fossil Threads in the Web of Life. Sampson S.D., University of California Press, 2009.

New Horned Dinosaurs from Utah Provide Evidence for Intracontinental Dinosaur Endemism. Sampson S.D. e altri, in «PLoS ONE», Vol. 5, n. 9, 22 settembre 2010.

AGRICOLTURA

L'uomo del grano

IN BREVE

Dagli antichi romani al XIX secolo la resa media di frumento tenero e duro è rimasta quasi costante, circa una tonnellata per ettaro.
L'aumento della produzione registrato nei primi decenni del Novecento è stato possibile grazie a concimi, meccanizzazione e miglioramento genetico.
Uno dei principali protagonisti di queste innovazioni è stato il genetista Nazareno Strampelli, che grazie a incroci di diverse varietà ha permesso all'Italia di aumentare notevolmente la produzione di grano senza quasi aumentare la superficie coltivata.
Le varietà ottenute da Strampelli sono state poi sfruttate in molti altri paesi e usate per ottenere altre varietà ancora in tutto il mondo.

Ed Young/AgStock Images/Corbis

Antonio Pascale è scrittore e ispettore al Ministero per le politiche agricole, alimentari e forestali. Ha pubblicato tra l'altro, *Scienza e sentimento* (Einaudi), *Qui dobbiamo fare qualcosa* (Laterza). È in uscita *Pane e pace* (Chiare Lettere). Collabora alla collana «Colture e culture» di Bayer CropScience. Ha partecipato al TEDx Reggio Emilia con il talk *Come abbiamo smesso di essere un paese agricolo*. Scrive per «Corriere della Sera», «Il Mattino» e «Limes». Collabora al sito di biotecnologie salmone.org.

C'entra il fatto che sono uno scrittore. È indubbio. Una questione di suggestione. Nel senso che quando vedo un campo di grano che sia da poco accestito o in levata, in spigatura, o biondo e sorridente e frusciante al vento, io esagero con l'immaginazione, e ripenso alla storia dell'umanità. Del resto, il grano è una coltura antica, ha più di 10.000 anni. Diecimila anni durante i quali la popolazione del pianeta è raddoppiata dieci volte, da meno di dieci milioni a più di sette miliardi e il frumento ha subito molte modifiche ed è stato causa di eventi storici e fatti che hanno inciso profondamente sulla nostra evoluzione: antropologica, economica e culturale. Insomma, siamo quello che siamo anche per merito (o per colpa, dipende dai punti di vista) del frumento.

Così, quando guardo un campo di grano la memoria va indietro, il campo visivo si restringe o si allarga, e a seconda dei casi mi appaiono immagini sparse. L'Italia all'inizio del Novecento, periodo in cui la coltivazione del frumento costituiva gran parte del reddito dell'agricoltore. L'areale agricolo era diviso in due grandi aree geografiche, quello settentrionale con tanta disponibilità d'acqua, più vitale e competitivo e quello meridionale, costellato da grandi feudi, arretrato e poco produttivo. Ancora indietro, all'Ottocento, e osservo l'Europa. Allora, proprio perché l'economia era legata alla coltura del frumento, si assitette a un imponente flusso migratorio. Colpa della peronospora, che distrusse intere coltivazioni di patate, e per compensare la perdita ci fu una massiccia importazione di frumento dalla Russia e dall'America. Il prezzo dei cereali europei crollò e milioni di contadini, dall'Italia, dalla penisola iberica, dal Balcani, dall'Austria e dalla stessa Russia, furono costretti a emigrare nelle Americhe (negli Stati Uniti e in Argentina).

Ancora, scorro i capitoli di storia e mi fermo al Settecento, secolo durante il quale la maggior parte delle coltivazioni di frumento cedettero il posto alle patate, e ancora indietro nel tempo quando la riscoperta di alcune pratiche agronomiche, come la rotazione e l'uso di attrezzi più sofisticati – l'aratro rovesciato, imbragature più efficienti, l'uso dell'erpice – consentirono di mettere a coltura terreni incolti, zone boschive, paludi. E poi il frumento nel mondo greco e romano, le pratiche agronomiche di cui parlano la Bibbia e il Corano. Ancora indietro, 5000 anni fa, e vedo il grano diffuso in Irlanda, Spagna, Etiopia e India. Ovunque andarono, i coltivatori portarono i propri usi: non solo la semina, la mietitura e la battitura, la cottura, la fermentazione, il possesso, l'accaparramento. Poi 6000 anni fa qualcuno inventò il primo aratro, per smuovere le zolle, seminare e separare il semenzaio.

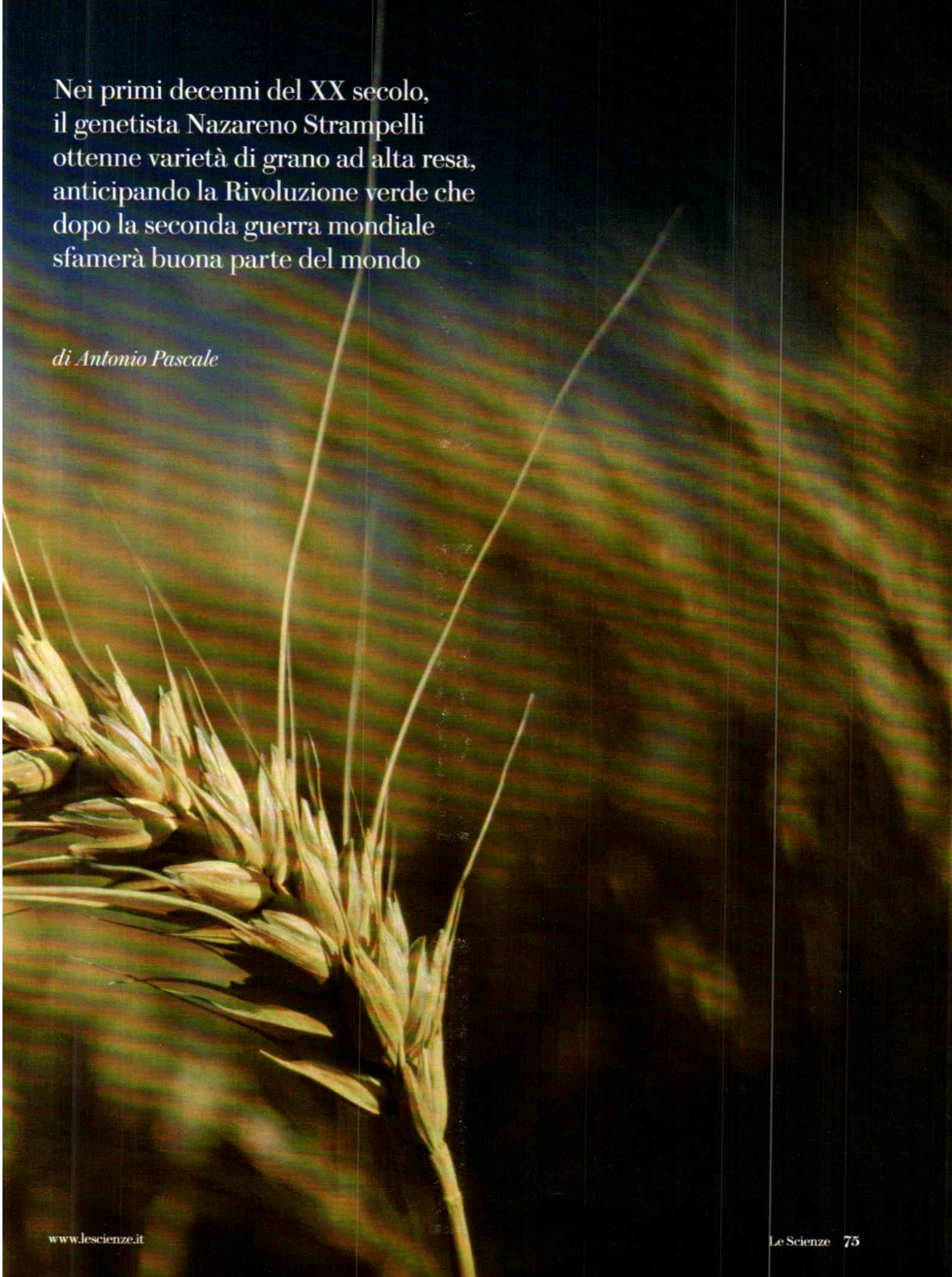
E poi infine il *flash back* ha termine: immagino le popolazioni di cacciatori-raccoglitori, 11.000 anni fa, che iniziarono a coltivare il farro, poi di seguito la segale e l'orzo. Mezzaluna fertile, una delle regioni più diversificate del mondo. E in queste distese di frumenti selvatici, che immagino bellissime alla luce del Sole al tramonto, chi fu il primo a ripiantare i semi e perché? Probabilmente una donna? Nelle società di cacciatori-raccoglitori le donne hanno

la responsabilità principale della raccolta delle piante. Ma avvenne per disperazione o per un'ispirazione? Accadde forse casualmente, con chicchi abbandonati vicino a insediamenti umani che si misero a germogliare?

Il patto con la pianta

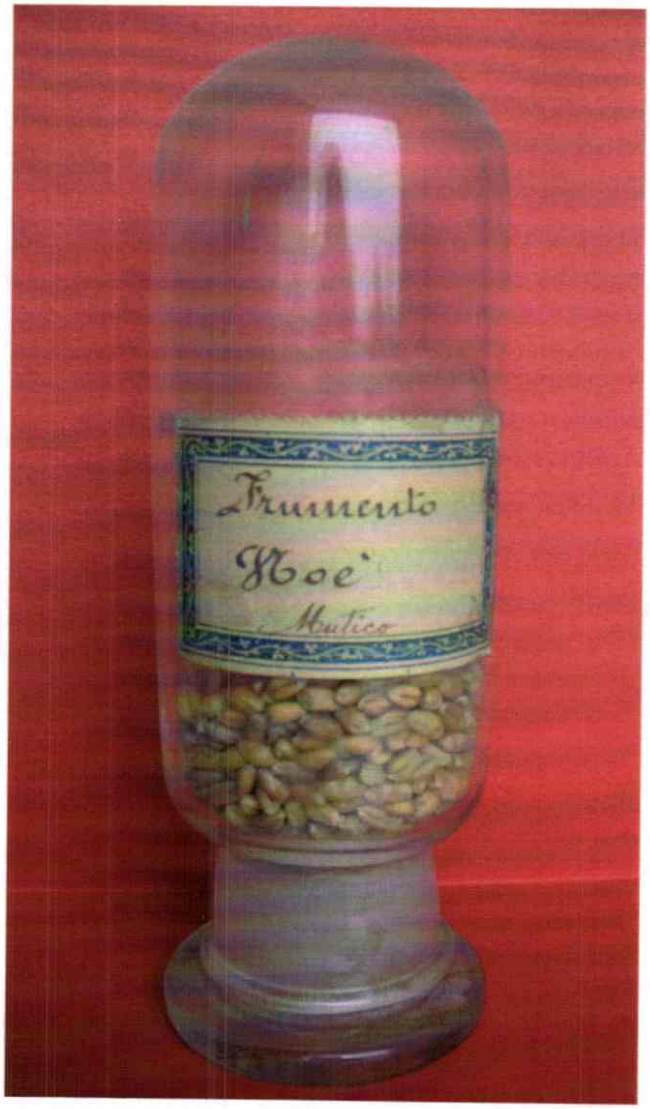
Non lo sappiamo. Fatto sta che nel momento in cui il frumento da selvatico divenne domestico la pianta acquistò due peculiarità: al rachide fragile che permetteva la dispersione dei semi si sostituì quello duro, e la cariosside perse la protezione naturale delle glume: da vestita divenne nuda. Nuda, e del tutto dipendente dall'uomo. Il patto tra uomo e grano è stato sancito allora, e da allora la pianta ha sviluppato nuovi e utili caratteri agronomici, nuovi percorsi evolutivi: i semi si ingrandirono, il rachide che tiene insieme i chicchi diventò ancora più robusto, così si poteva cogliere non il singolo chicco, ma la spiga. E ancora i nostri antichi coltivatori, forti del patto con la pianta e più spregiudicati degli attuali genetisti, selezionarono piante con semi non dormienti, quelle con germinazione rapida e uniforme. Piante erette, cariossidi più grandi, numero maggiore di spighette per spiga. Piante con maggiore accestimento, alta taglia, foglie a portamento orizzontale. Piante con maggiore produttività, foglie a portamento verticale, altezza ridot-

Cortesia nazarenostrampelli.it (*foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)



Nei primi decenni del XX secolo, il genetista Nazareno Strampelli ottenne varietà di grano ad alta resa, anticipando la Rivoluzione verde che dopo la seconda guerra mondiale sfamerà buona parte del mondo

di Antonio Pascale



L'uomo e il suo grano. A fronte, uno dei rari ritratti di Nazareno Strampelli (*a fronte*). Qui a fianco, campioni di frumento di diverse varietà usate da Strampelli e conservate all'ITCG «Giovanni Antinori» di Camerino, tra cui il Carlotta Strampelli (*sotto, a destra*).

ta, piante con maggiore risposta a fertilizzanti e fitofarmaci. Piante con maggiore resistenza a malattie e insetti, resistenza all'allettamento, cioè al ripiegamento fino a terra a seguito di vento o pioggia. Piante migliorate per qualità panificatorie e pastificatorie.

Centinaia di modificazioni genetiche, eppure incredibilmente, visti i miglioramenti apportati alla pianta, per millenni la resa media dei cereali (frumento tenero e duro) rimase invariata, stabile attorno alla tonnellata per ettaro. Questo vuol dire che un contadino dell'epoca in cui è nato mio nonnno e uno dell'epoca romana ottenevano la stessa resa media. La produzione aumentò solo nei primi decenni del Novecento. Concimi, meccanizzazione e miglioramento genetico. Qui la storia necessita di una digressione, bisogna parlare di Nazareno Strampelli, l'uomo del grano (come recitava anche il titolo di un film del 2009 a lui dedicato), tra i più geniali, e ancora sconosciuti (fatto salvi gli addetti ai lavori) genetisti del secolo.

Per introdurre Strampelli, un piccolo prologo: dobbiamo partire dalla complessità. Voglio dire, 10.000 anni di storia evolutiva hanno prodotto una pianta con un patrimonio genetico molto complesso. Ogni gene è presente in più copie. I frumenti contengono specie diploidi (14 cromosomi), tetraploidi (28 cromosomi), come il grano duro, ed esaploidi (42 cromosomi), come il grano tenero: ovvero ogni gene ha 2, 4 o 6 copie. Non solo, il grano tenero ha un abbondante numero di geni: 150.000 (non tutti funzionanti, naturalmente). La specie umana, giusto per offrire un metro di paragone, conta un numero di geni che varia da 31.780 a 39.114. Il grano, dunque, è una pianta con un'incredibile variabilità genetica.

Qui, davanti a questa affascinante duttilità del grano, inizia la storia di Strampelli. Scena: Italia, 1900. Campi di grano che ondulavano al vento. Zoommata su una varietà di grano piuttosto alta, il Rieti. Si trattava di un frumento autoctono, coltivato da tempo immemorabile nel capoluogo sabino. Molto apprezzato, e dunque capace di spuntare un buon prezzo sul mercato, nel 1879 era venduto a 50 lire il quintale, contro le 24-32 lire degli altri grani. Il Rieti aveva il grosso pregio di resistere a una malattia fungina, la ruggine, ma aveva il difetto di essere soggetto all'allettamento.

All'epoca – le leggi di Mendel non erano state ancora riscoperte – i genetisti coscienti della variabilità del grano selezionavano le varietà solo all'interno della popolazione. La teoria in voga si chiamava «selezionismo», ovvero ogni anno all'interno della popolazione della varietà Rieti si sceglievano le piante migliori per le caratteristiche desiderate. Una tecnica di miglioramento lenta e difficile, e spesso inefficace. Strampelli ebbe invece un'intuizione: è necessario, disse, ricorrere all'ibridazione, solo così possiamo sperare di trasferire caratteri utili da una specie all'altra.

In lotta per il grano. Benito Mussolini nel 1940 mentre partecipa alla raccolta del grano. Grazie ai grani di Strampelli, il regime fascista aumentò notevolmente la produzione italiana di frumento. Sotto, Norman Borlaug, Nobel per la pace nel 1970 e padre della Rivoluzione verde, con varietà di grano ad alta produttività perché più resistenti alle malattie, da lui ottenute grazie a incroci. A fronte, una donna indiana spula il grano in un mercato di Amritsar. L'India è il secondo produttore globale di grano, anche grazie alla Rivoluzione verde.

Gamma-Keystone/Getty Images (*Mussolini*); Time & Life Pictures/Getty Images (*Borlaug*)

Il grano è una specie autogama, si autoimpollina, l'impollinazione incrociata è nell'ordine del 2-4 per cento dei casi. Capite bene che l'operazione appariva contro natura, e capite bene che alcune ideologie, all'epoca molto forti (un po' come adesso) si opponevano a questa tecnica di miglioramento. Perché mischiare le specie, il «sangue»? Almeno fino agli anni venti e oltre furono in voga «conservatorismo» e «localismo»: si lottava per la difesa della qualità della tradizione tipica delle varietà di frumento locale, mentre Strampelli proponeva di forzare la «natura». Così cominciò a incrociare. Per prima cosa Rieti e Noè. Perché proprio il Noè? Semplice, questa varietà (derivata da una selezione francese di un grano russo, sangue misto insomma) non allettava. Era più basso, ma non resisteva alla ruggine; al contrario il Rieti allettava ma resisteva alla ruggine.

Strampelli realizzò un migliaio di incroci, e nel 1914 vide nascere la sua prima varietà, Carlotta Strampelli (ottenuta da un incrocio realizzato nel 1905), che resisteva alla ruggine, al freddo e all'allettamento. Nel 1918, quando ormai la Carlotta Strampelli era coltivata in molte regioni italiane si manifestò, però, un problema. Si sa, in pieno campo alcune variabili vengono alla luce: la pianta risultò suscettibile alle alte temperature tardive, quelle cioè che si verificano in corrispondenza della fase di granagione. La produttività si abbassò e su Strampelli cominciarono a piovere critiche, del tipo: l'avevo detto io che gli incroci erano pericolosi. Ma il nostro agronomo sapeva valutare i miglioramenti ottenuti e affrontare gli imprevisti, così, invece di fermarsi, continuò a incrociare, cercando di risolvere il problema. Bisognava trovare varietà che anticipassero l'epoca di spigatura e maturazione. Questo punto della storia vede l'ingresso in campo di un famoso sementiere dell'epoca, l'ingegner Ingegnoli. Fu lui a portare in Italia una varietà giapponese, l'Akagomughi, molto precoce ma per niente produttiva.

Strampelli cominciò a utilizzarla, così dopo una serie di incroci – cv Akagomughi con la linea 21 (aristata), quest'ultima selezionata a sua volta dall'incrocio Rieti con Wihelmina Tarwe, di origine olandese – Strampelli ottenne l'Ardito. La cultivar ebbe grande successo; maturava 15-20 giorni prima del Rieti, era alto 80-100

centimetri, resisteva al freddo e alla ruggine ed era molto produttivo. Dall'Ardito derivarono molte linee sorelle che si diffusero velocemente e non solo diventarono progenitrici di diverse importanti varietà coltivate in diversi paesi del mondo. Ma soprattutto fu grazie all'Ardito, e agli altri grani di Strampelli, in particolare la varietà San Pastore, molto produttiva, che il regime fascista, in quella che fu chiamata retoricamente «la battaglia del grano», riuscì ad aumentare la produzione italiana di frumento dai 44 milioni di quintali prodotti nel 1922 agli 80 milioni del 1933, senza quasi aumentare la superficie coltivata. Certo, diverte pensare che negli anni in cui il ruralismo italico era più forte e Mussolini proclamava la purezza della «razza», quella stessa «razza» si sfamava (per modo di dire) grazie a un grano contaminato; bastardo, insomma.

Dal tenero al duro

Questa parte della storia riguarda il grano tenero. C'è un capitolo anche sul grano duro. Altro capitolo sì, ma stesso procedimento. Strampelli selezionò entro la specie, incrociò grani duri autoctoni del sud d'Italia e delle isole con quelli provenienti da altri paesi del Mediterraneo. La sua varietà più famosa resta il Cappelli, selezionata a Foggia, che per diversi anni sarà la varietà più coltivata in Italia, Spagna, Turchia e altri paesi mediterranei. Inoltre è una varietà che ha avuto un ruolo importante come progenitrice di tante altre. Quasi tutte quelle di frumento duro hanno nella propria genealogia il Cappelli. Strampelli non ha lasciato molte pubblicazioni. Il libro che meglio illustra la grande mole di lavoro da lui svolta è *Origine, sviluppi, lavori e risultati*, edito nel 1932 dall'Istituto Sperimentale per la Cerialicoltura di Roma: «Le mie pubblicazioni, quelle a cui veramente tengo, sono i miei grani (...) ad essi resta affidata l'opera mia nell'interesse del mio paese».

Dario Bressanini sul suo blog ha ricordato che «Strampelli non si arricchì mai con i suoi frumenti, scegliendo di non chiedere *royalties* per lo sfruttamento commerciale dei semi da lui distribuiti». E ancora: « È curioso che il grano Cappelli, ora diventato un simbolo della "pasta da *gourmet*", fosse una volta il comune grano della pasta di tutti i giorni, e che venga da alcuni considerato autoctono quando in realtà è una varietà tunisina. Per non parlare degli altri grani di Strampelli che tutto sono fuorché autoctoni». Scorre sangue (pardon, DNA) straniero nei grani d'Italia.

Ora si sa, i demografi sono preoccupati: le popolazioni in crescita rapida rispetto al resto del mondo nei prossimi cinquant'anni saranno quelle di Burkina Faso, Mali, Niger, Somalia, Uganda, Yemen. A parte quest'ultimo, sono paesi africani, affamati; non sono stati toccati dalla Rivoluzione verde di Norman Borlaug, tutto è ancora dipendente da un'agricoltura organica. Più povertà, più figli. Ma se le loro condizioni di vita miglioreranno è probabile che nel 2050 la popolazione mondiale si assesterà attorno ai 9 miliardi di persone. Nutrirle non sarà uno scherzo. Ci vorrà il 35 per cento di calorie in più rispetto a quanto coltivato oggi, forse di più se una parte crescente di quella popolazione dovrà avere carne più di una volta al mese (occorrono dieci calorie di grano per produrre una caloria di carne). Insomma, la storia del grano non finisce qui, né tanto meno quella del miglioramento genetico. Ci vogliono campi meno estesi e più produttivi, e soprattutto bisogna risparmiare in concimi e agrofarmaci. Quindi sono necessarie piante più efficienti, corazzate contro insetti o patogeni e resistenti a siccità e salinità.

Le nuove pratiche di miglioramento e le biotecnologie potranno darci una mano, e comunque per gli agronomi e i genetisti del futuro varrà ancora la scritta su quella lapide posta all'esterno della casa di Strampelli a Crispiero, nelle Marche. Dice semplicemente così: «Dove cresceva una spiga di grano ne fece crescere due». ■

PER APPROFONDIRE

Il lungo viaggio dell'uomo. Wells S., Longanesi, Milano, 2006.

Il grano. AA. VV., Bayer CropScience, ART, Bologna, 2007.

L'agricoltura verso il terzo millennio attraverso i grandi mutamenti del XX secolo. Scarascia Mugnozza G.T., Accademia nazionale di agricoltura, disponibile alla pagina web: **http://www.accademia-agricoltura.it/anal/1999_12.html.**

Il blog di Dario Bressanini: **http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it.**

Ramindèr Pal Singh/Corbis

La nuova generazione

di Robin Marantz Henig

Una giovane donna che usava il nickname *blueberryoctopus* prendeva antidepressivi da tre anni, in particolare per stati di ansia e attacchi di panico, quando ha raccontato sul sito web Experience Project le sue peripezie con questi farmaci. Spiegava di avere preso per un anno il Paxil, uno degli inibitori selettivi della ricaptazione della serotonina (*selective serotonin reuptake inhibitor*, SSRI) più diffusi, ma aveva dovuto interromperne l'assunzione perché aveva azzerato il suo desiderio sessuale.

Così era passata allo Xanax, un ansiolitico, che le aveva restituito la libido ma anche tutti i sintomi. Poi aveva ripreso il Paxil, e poi ancora il Lexapro (un altro SSRI), per passare infine al Pristiq, un membro di una classe affine di antidepressivi, gli SNRI inibitori della ricaptazione della serotonina e della noradrenalina (*serotonin-norepinephrine reuptake inhibitor*, SNRI). Nel momento in cui scriveva, la donna stava prendendo un altro SSRI ancora, lo Zoloft, insieme all'antidepressivo Wellbutrin (un parente degli SNRI che influenzano l'attività della dopamina e della noradrenalina), mirato a bilanciare gli effetti collaterali dello Zoloft sulla libido. «Non mi pare di notare una grande differenza rispetto al Wellbutrin, ma sto prendendo la dose più bassa. La settimana prossima farò di nuovo una visita dallo psichiatra: magari mi aumenterà la dose. Chi lo sa», scriveva.

Quello appena descritto è un tipico approccio per prove ed errori alla prescrizione degli antidepressivi. E non solo per la depressione, ma anche per disturbi simili, come quelli manifestati dalla donna. Come ha scritto Andrew Solomon in *Il demone di mezzogiorno*, libro di riferimento sulla depressione, è un approccio che «vi fa sentire come il bersaglio di un gioco a freccette».

I preoccupanti effetti collaterali non sono l'unica ragione di questa strategia da tiro a segno. Gli SSRI e gli SNRI che hanno dominato il mercato degli antidepressivi fin dalla loro introduzione negli anni ottanta e novanta, non aiutano tutti indistintamente, e prima o poi si dimostrano fallimentari in un terzo dei pazienti. Una pillola che sembra funzionare oggi potrebbe non essere più efficace domani. Senza considerare che questi farmaci impiegano anche

I farmaci contro la depressione impiegano anche settimane prima di produrre effetti, e in molte persone non sono efficaci. I ricercatori stanno cercando di superare questi limiti e ottenere alternative migliori

di antidepressivi

Diradare (subito) le nubi. Laboratori del settore pubblico e di quello privato sono alla ricerca di farmaci contro la depressione ad azione più rapida rispetto a quelli attualmente in commercio.

Tom Schierlitz/Trunk Archive

settimane prima di avere qualche effetto, un periodo di attesa che può rivelarsi insidioso. Secondo un rapporto del 2006, pubblicato sull'«American Journal of Psychiatry», tra i pazienti depressi più anziani (oltre i 66 anni) che assumevano SSRI il rischio di suicidio era cinque volte superiore durante il primo mese di trattamento rispetto ai mesi successivi.

I pazienti ovviamente hanno un bisogno vitale di antidepressivi che funzionino in modo più rapido e con maggiore efficacia, tuttavia le fonti di nuovi farmaci si stanno prosciugando. Al punto che, da un paio di anni, giganti farmaceutici come GlaxoSmithKline stanno annunciando l'intenzione di abbandonare lo sviluppo dei farmaci psichiatrici, ritenendolo troppo costoso, troppo complicato e troppo aleatorio.

Alcuni scienziati attivi sia in laboratori governativi e universitari sia in piccole aziende farmaceutiche provano a prendere in mano il lavoro lasciato a metà. Avranno successo? È presto per dirlo. Ma i nuovi farmaci non saranno subito disponibili per i milioni di pazienti vittime di depressione. Molti sono bloccati in un limbo terapeutico, disposti a provare di tutto pur di alleviare il dolore psichico, anche trattamenti sperimentali: come farsi piazzare elettrodi nel cranio o farsi fare dei buchi nel cervello.

Velocizzare i tempi

I ricercatori che mirano ad antidepressivi ad azione più rapida stanno studiando composti capaci di risollevare l'umore alla velocità del fulmine, sperando di capire le ragioni per cui funzionano molto più rapidamente degli SSRI, i farmaci che aumentano il livello di serotonina, una molecola segnale del cervello. Uno dei composti è la chetamina (conosciuta anche come ketamina).

Questa sostanza è un anestetico, un analgesico e una droga ricreazionale, conosciuta nel gergo dei tossicodipendenti come Special K. Come effetti, influenza la coscienza e causa allucinazioni, e gli esperimenti con i roditori dimostrano che può avere un'azione tossica sulle cellule nervose. Queste caratteristiche ne fanno un candidato tutt'altro che ideale come antidepressivo. Eppure si è dimostrato un composto molto interessante da studiare, per capire come produrre antidepressivi ad azione più rapida. Ronald Duman e George Aghajanian della Yale University hanno dimostrato che, appena due ore dopo un'iniezione di chetamina, topi di laboratorio hanno aumentato la produzione delle proteine necessarie per costruire nuove sinapsi – i punti di scambio dei segnali tra le cellule nervose – nella corteccia prefrontale. Questa regione del cervello, situata esattamente dietro gli occhi, ha un comportamento anomalo nei depressi. Dopo 24 ore dall'iniezione di chetamina i topi iniziavano a formare per gemmazione (*sprouting*) nuove «spine sinaptiche» lungo i dendriti, i prolungamenti delle cellule nervose che ricevono i segnali dagli altri neuroni. Più numerose sono le spine, più rapida è la trasmissione. E negli esperimenti di Duman e Aghajanian più erano numerose le spine sinaptiche e meno gli animali manifestavano un comportamento depresso, come abbandonare attività a cui solitamente amano dedicarsi.

«Numerose ricerche degli ultimi dieci anni hanno dimostrato che, nel caso della depressione, si verifica un'atrofia, e non una crescita, della corteccia prefrontale e dell'ippocampo», spiega Duman, direttore del laboratorio di psichiatria molecolare a Yale. «La chetamina inverte rapidamente l'atrofia» e riporta nella norma la corteccia prefrontale. Quantificare la rapidità è il tema di ricerche attuali. Gli scienziati di Yale esaminano il cervello dei topi solo poche ore dopo l'iniezione di chetamina, per vedere se l'aumento delle spine dendritiche può avvenire addirittura prima di 24 ore.

Ulteriori ricerche in un gruppo diverso di topi depressi hanno rivelato che la chetamina induce la crescita delle spine sinaptiche: attivando l'enzima mTOR nei neuroni, Duman e colleghi hanno scoperto questo collegamento somministrando ai topi una sostanza che blocca l'azione dell'enzima. Poi hanno somministrato la chetamina ai topi in cui l'attività dell'enzima mTOR era bloccata. Non accadeva nulla. Significava che quando mTOR era inibito la chetamina non aveva effetti sulla proliferazione delle spine sinaptiche o sull'inversione del comportamento di natura depressa. In altre parole, per indurre la gemmazione delle spine denditriche da parte della chetamina è necessario che mTOR sia funzionante.

Considerando che la chetamina è troppo rischiosa da usare come farmaco, gli scienziati hanno cercato altri attivatori di mTOR. Sapevano che la chetamina stimola l'enzima impedendo l'azione del glutammato (il principale neurotrasmettitore eccitatorio) su una particolare molecola: il recettore NMDA, sulla superficie dei neuroni. Hanno quindi provato un altro bloccante di NMDA e scoperto che, a sua volta, induceva l'attività di mTOR e promuoveva rapidamente la formazione delle spine, generando effetti antidepressivi nei topi. Duman ci spiega che sta esaminando altre sostanze che ostacolano i recettori NMDA, per vedere se alcune si riveleranno promettenti come antidepressivi sicuri e rapidi nell'azione.

Un altro composto che migliora rapidamente l'umore è, come la chetamina, già in commercio per un altro scopo. Si tratta della scopolamina, venduta come cerotto adesivo contro il mal di mare. Questa sostanza influenza un differente circuito cerebrale rispetto alla chetamina: impedisce il legame del neurotrasmettitore acetilcolina, implicato nell'attenzione e nella memoria, ai recettori muscarinici.

Già negli anni settanta i ricercatori sapevano che manipolare l'attività dell'acetilcolina nel cervello poteva generare depressione. I pazienti bipolari, che oscillano tra la fase maniacale e la fase depressiva, quando erano nella fase maniacale e assumevano un farmaco per potenziare il segnale dell'acetilcolina sviluppavano entro un'ora sintomi depressivi, come umore triste e letargia. E quando si somministrava ai pazienti depressi un farmaco che aumentava il livello di acetilcolina la depressione peggiorava.

Si potrebbe dunque ipotizzare che gli scienziati alla ricerca di

Robin Marantz Henig scrive per il «New York Times Magazine» ed è autrice di *Pandora's Baby: How the First Test Tube Babies Sparked the Reproductive Revolution.*

IN BREVE

Gli antidepressivi di oggi impiegano settimane per alleviare la depressione, e in alcuni pazienti non funzionano proprio, e se funzionano oggi, magari non funzionano più domani.

Sono quindi necessari farmaci ad azione più rapida, che adottino nuovi meccanismi di azione. Tuttavia le grandi aziende farmaceutiche hanno in cantiere un numero limitato di queste sostanze.

Alcune piccole case farmaceutiche e ricercatori del settore pubblico provano a colmare questo vuoto seguendo strade promettenti.

NUMERI PER IMMAGINI

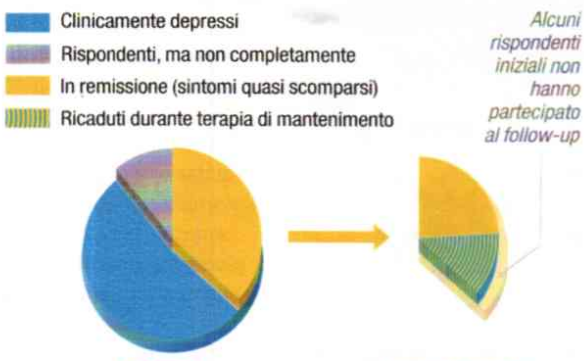
Un divario enorme

La necessità di antidepressivi migliori è evidenziata dai dati dello studio Star*D (Standard Treatment Alternatives to Relieve Depression), che ha analizzato gli effetti della terapia farmacologica in circa 3000 pazienti. I risultati, pubblicati nel 2006, dimostrano che i farmaci sono effettivamente di aiuto per molti pazienti. Ma una parte significativa non risponde in modo completo o va incontro a una ricaduta anche quando gli agenti terapeutici funzionano per un certo periodo. Inoltre, questi farmaci impiegano anche settimane prima di produrre il massimo effetto.

Il trial era complesso. All'inizio i pazienti ricevevano il citalopram (Celexa), un inibitore selettivo della ricaptazione della serotonina (SSRI), la classe di agenti più prescritta. I soggetti che non sperimentavano un'attenuazione dei sintomi erano sottoposti a trattamenti alternativi, fino a tre volte in totale. Quelli che avevano risposto positivamente erano monitorati per un anno mentre erano sottoposti a terapia di mantenimento.

I dati illustrati qui sotto provengono dal primo stadio di trattamento del trial, con citalopram. Complessivamente il 67 per cento dei pazienti che avevano percorso tutti gli stadi del trial ha ottenuto una remissione della malattia (almeno per un po' di tempo), ma a ogni stadio successivo la percentuale di pazienti che ricevevano un beneficio diminuiva e la probabilità di ricaduta aumentava.

Risultati dal primo stadio di trattamento di Star*D



Risposta all'antidepressivo
Il 37 per cento dei soggetti è andato in remissione, in media in 6,3 settimane. (Questi pazienti erano tra il 49 per cento dei rispondenti)

Tasso di ricaduta
Il 34 per cento dei pazienti che erano in remissione quando hanno iniziato la terapia di mantenimento sono diventati sintomatici entro 12 mesi

Fonte: *Acute and longer-term outcomes in depressed outpatients requiring one or several treatment steps: A Star*D Report*, di A. John Rush e altri, in «American Journal of Psychiatry», Vol. 163, n. 11, novembre 2006.

nuovi antidepressivi indaghino sistemi per disattivare l'acetilcolina. Ma all'inizio il loro interesse aveva preso un'altra piega, a favore della *star* dei neurotrasmettitori: la serotonina. In effetti, secondo molti psichiatri la grande efficacia degli SSRI era dovuta al fatto di non avere come bersaglio circuiti i cerebrali dell'acetilcolina. E dunque avevano ignorato l'acetilcolina, ritenendo che i vecchi antidepressivi avessero così tanti effetti collaterali perché, a differenza degli SSRI, agivano sul sistema colinergico, e in particolare sui recettori muscarinici, che costituiscono una frazione dei recettori dell'acetilcolina distribuiti nel cervello.

Insomma, trovare un farmaco che agisca in particolare sui recettori muscarinici, e che non solo manifesti effetti collaterali relativamente scarsi ma che sia anche un antidepressivo rapido ed efficace, va contro la convinzione comune. Eppure è quanto stanno constatando gli scienziati nel caso della scopolamina.

In un trial clinico con 22 pazienti depressi Maura Furey, scienziata della divisione di terapia sperimentale e di fisiopatologia del National Institute of Mental Health (NIMH) statunitense, ha scoperto che l'iniezione endovenosa di scopolamina alleviava i sintomi nell'arco di tre giorni. I pazienti, spiega, riferivano di svegliarsi sentendosi meglio già il giorno dopo. Alla fine del trial, durato quattro settimane, quasi due terzi dei soggetti manifestavano un miglioramento significativo dei sintomi, e un terzo una loro remissione. Questi benefici duravano per due settimane dopo l'ultima dose, e gli stessi effetti sono stati successivamente replicati in altri 22 pazienti depressi.

Il NIMH si augura di trovare un'azienda farmaceutica che svolga i test e i trial necessari per commercializzare la scopolamina come antidepressivo ad azione rapida. Furey è «estremamente delusa» dal fatto che finora nessuno l'abbia presa in considerazione perché, dice, «ho capito quanto è efficace sui pazienti».

La somministrazione del farmaco è uno degli ostacoli. La scopolamina per via endovenosa in miscele di anestetici, come fanno alcuni anestesisti, è inattuabile. Con il cerotto cutaneo i livelli ematici del farmaco non raggiungono una concentrazione sufficiente; nel caso poi dell'assunzione orale buona parte del farmaco è eliminata dall'apparato digerente. Attualmente Furey è impegnata per trovare un metodo di somministrazione che sia insieme pratico ed efficace.

Una soluzione per tutti

L'altro grande inconveniente degli antidepressivi attuali, oltre al lungo tempo impiegato prima di essere efficaci, è che non funzionano con ogni paziente. Per affrontare questo problema i ricercatori si stanno concentrando su diversi nuovi meccanismi d'azione. Alcuni studiano una seconda classe di recettori dell'acetilcolina, i recettori nicotinici, chiamati così perché rispondono anche alla nicotina. In particolare gli scienziati di Targacept, piccola azienda biotecnologica di Winston-Salem nel North Carolina, hanno scelto un farmaco sperimentale, indicato come TC-5214, che blocca uno specifico recettore nicotinico, e si augurano di metterlo in commercio come terapia integrativa nei casi in cui un singolo antidepressivo non riduca i sintomi a sufficienza.

Nei trial preliminari, che avevano coinvolto 265 soggetti, i pazienti che non rispondevano al solo citalopram (Celexa), un SSRI, vedevano aggiungere alla terapia il TC-5214 o un placebo. Nel 2009 Targacept ha riferito che i volontari che assumevano citalopram più il placebo erano migliorati di 7,75 punti, secondo lo strumento di valutazione standard (la scala Hamilton per la valutazione della depressione), mentre i pazienti trattati con citalopram più il farmaco sperimentale erano migliorati di 13,75 punti.

In seguito AstraZeneca ha firmato un contratto con Targacept per studi di efficacia più ampi (trial di fase III) in cui i pazienti ricevevano placebo o TC-5214 in aggiunta all'antidepressivo tradizionale. I primi due trial, che avevano coinvolto 614 soggetti, hanno prodotto risultati deludenti (in un confronto con il placebo nessun miglioramento dei punteggi della depressione dopo otto settimane). Ma Targacept e AstraZeneca hanno deciso di continuare con due ulteriori trial di efficacia, che coinvolgeranno 1300 soggetti in diverse parti del mondo, e anche con uno studio di sicurezza a lungo termine. Per la seconda metà del 2012 si augurano di riuscire compilare la domanda alla Food and Drug Administration per ottenere l'autorizzazione all'uso di TC-5214 come nuovo farmaco.

Con un meccanismo d'azione non collegato al suo effetto su serotonina o noradrenalina, l'antagonista del recettore nicotinico di

Targacept mira ad aiutare i pazienti depressi che non traggono benefici dai farmaci attualmente in commercio. Un altro modo per agire sui soggetti non rispondenti è cambiare strada ancora più radicalmente. Non più puntando alle vie di trasmissione dei segnali attraverso questo o quel recettore, ma agendo su un processo biologico diverso. Questo processo è la neurogenesi (la crescita di nuovi neuroni), in particolare nell'ippocampo, una piccola struttura alla base del cervello considerata una delle due regioni del cervello umano adulto in cui avviene la neurogenesi.

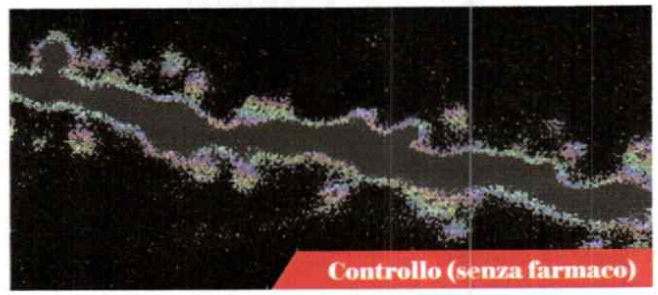
Da tempo sappiamo che nella depressione sono implicati i cambiamenti strutturali nell'ippocampo. Le autopsie cerebrali di persone clinicamente depresse mostrano spesso un'atrofia in quella regione e una riduzione significativa del volume. Gli SSRI e gli SNRI già in uso attenuano la depressione, non solo manipolando i livelli di serotonina ma anche aumentando la crescita delle cellule ippocampali. Tuttavia la crescita è lenta, ed è probabilmente per questa ragione che i benefici delle pillole impiegano molto tempo prima di fare effetto. Gli scienziati di una piccola azienda farmaceutica, la Neuralstem di Rockville, nel Maryland, credono di avere scoperto un modo differente per innescare la neurogenesi, e di preservarla anche dopo l'interruzione del farmaco.

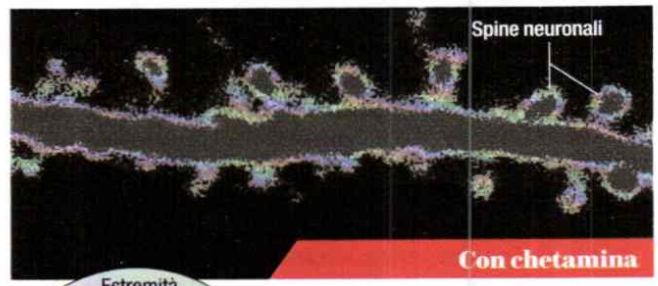
Per trovare la scintilla scatenante, i ricercatori di Neuralstem hanno impiegato colture di cellule staminali neurali derivate dalle cellule di ippocampo umano, le uniche colture di questo tipo al mondo, secondo l'azienda. Per prima cosa, gli scienziati hanno studiato l'effetto di circa 10.000 composti sulle cellule di ippocampo in coltura. L'obiettivo, spiega il responsabile scientifico Karl Johe, era capire quali composti aumentavano la velocità di proliferazione cellulare dopo sette giorni. Meno di 200 sostanze hanno superato l'esame, dice Johe, e da queste Neuralstem ha concepito una decina di composti che sembravano stimolare con più probabilità la neurogenesi ippocampale. Nel 2004 è iniziato il test su animali, con l'iniezione di questi composti in topi normali. Le sostanze più efficaci per la crescita di nuove cellule dell'ippocampo erano somministrate a topi dal comportamento depresso, e da questo protocollo è emerso il composto più promettente in assoluto.

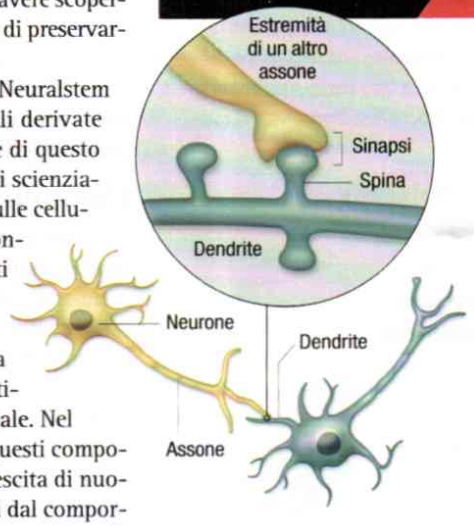
Attualmente la Neuralstem conduce test preliminari di sicurezza sull'uomo (trial di fase I) di una forma in pillole di un composto identificato come NSI-189. Se le cose andranno come programmato, Neuralstem prevede di iniziare i test di efficacia verso la fine del 2012. Questi studi useranno neuroimmagini ricavate con la risonanza magnetica per vedere se il farmaco aumenta la neurogenesi, e altre tecniche per capire se allevia i sintomi della depressione. Tuttavia, ammesso che funzioni, gli effetti di NSI-189 non saranno rapidi. «Non è come quando somministriamo un farmaco a un soggetto epilettico, e l'epilessia si blocca all'istante. Questo trattamento richiede cambiamenti nella cellula a livello genetico», spiega Johe. «L'atrofia ippocampale impiega anni per manifestarsi, e invertire questo processo richiede molto tempo», aggiunge. Tuttavia si augura che l'effetto sia di lunga durata, così NSI-189 sarebbe necessario solo in modo intermittente. È un'idea ancora da dimostrare, ma è una «possibilità entusiasmante», commenta Johe.

Scavare più in profondità

Di recente i ricercatori hanno capito che l'infiammazione cronica – che è stata collegata a malattie come cancro, aterosclerosi e diabete – contribuisce alla depressione, e questa conoscenza ha aperto una nuova via di attacco.







I dendriti dei neuroni generano rapidamente nuove spine per gemmazione (*in alto*) – le strutture che ricevono i segnali da altri neuroni (*illustrazione*) – in topi sottoposti a un trattamento con chetamina. La risposta potrebbe spiegare perché questa sostanza migliora l'umore in individui depressi entro un'ora dalla somministrazione. La chetamina è troppo rischiosa per un uso ordinario, ma gli scienziati sono alla ricerca di sostanze più sicure capaci di un effetto altrettanto rapido sulle spine.

Diversi filoni di ricerca hanno stabilito il collegamento tra depressione e infiammazione, la quale in genere è la risposta dell'organismo a un invasore. Alcuni studi hanno dimostrato che nelle persone depresse circolano livelli elevati di piccole molecole, le citochine – come l'interleuchina-6 o il TNF-alfa – che orchestrano i processi infiammatori. Inoltre una decina d'anni fa gli scienziati hanno osservato che i pazienti con un tumore alla pelle diventavano depressi dopo aver ricevuto citochine infiammatorie come trattamento.

«Ho intervistato uno di questi pazienti – spiega Andrew Miller, direttore di oncologia psichiatrica al Winship Cancer Institute della Emory University – e sono rimasto colpito dalla similitudine di questa depressione con la forma che mi capitava di osservare in studio, nella veste di psichiatra».

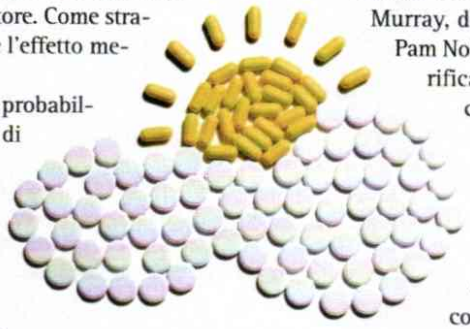
Il grave danno provocato dalle citochine è l'interferenza con la neurogenesi stimolata dagli SSRI e dagli SNRI. «Mettere fuori uso la neurogenesi significa eliminare l'aiuto di questi antidepressivi», commenta Miller. Questo effetto spiega perché le persone depresse con i livelli più alti di infiammazione cronica sono anche quelle in genere più difficili da aiutare. Nel 2006 un gruppo di scienziati ha scritto su «The Lancet» che l'etanercept, farmaco in fase di sperimentazione per il trattamento della psoriasi in 618 soggetti, spesso alleviava la depressione, anche nei soggetti in cui la pso-

Cortesia George Aghajanian e Rong-Jian Liu, Yale University

riasi non era migliorata. L'effetto deriva evidentemente dalla citochina infiammatoria TNF-alfa. «Per ora, nessuno dovrebbe correre dal medico a farsi prescrivere questo farmaco contro la depressione», ha spiegato Ranga Krishnan, uno dei membri del gruppo di ricerca, all'epoca alla Duke University, osservando che i risultati sulla depressione erano aneddotici. «Comunque, riteniamo che questi risultati scientifici siano entusiasmanti».

Anche Miller ha trovato entusiasmante la scienza di queste ricerche e ha contattato Krishnan per pianificare un trial sulla depressione di un antagonista della citochina, il Remicade, un antinfiammatorio già in commercio per il trattamento dell'artrite reumatoide e di altre malattie autoimmuni. Ci sono voluti più di cinque anni, ma alla fine Miller e Charles Raison, della Emory University, sono finalmente riusciti a ottenere finanziamenti per le ricerche dall'NIMH. Hanno completato un trial con il Remicade su 60 pazienti depressi resistenti al trattamento, e affermano che presto divulgheranno risultati incoraggianti.

Alcuni ricercatori hanno puntato di nuovo l'obiettivo sulla serotonina, ma intendono potenziare la sua attività seguendo strade nuove: aumentando il numero di recettori della serotonina nella sinapsi, pronti a rispondere al neurotrasmettitore. Come strategia ancora più radicale, intendono ottenere l'effetto mediante la terapia genica.



Parlare di terapia genica ai biologi suscita probabilmente una reazione di sufficienza. Tuttavia, di recente gli scienziati hanno annunciato un primo successo con la terapia genica in un disturbo cerebrale, il morbo di Parkinson. E un ricercatore del gruppo di ricerca sul Parkinson vuole provare qualcosa di simile anche per la depressione.

Il gene candidato per questa terapia è *p11*, che codifica per una proteina necessaria per rimuovere particolari recettori della serotonina dalla superficie della cellula. Senza *p11*, i recettori rimangono dentro la cellula, un evento che aumenta la loro incapacità di rispondere ai messaggi della serotonina. Nel 2006 Paul Greengard e colleghi della Rockefeller University hanno dimostrato che i roditori con un comportamento di tipo depressivo (come rinunciare ad attività che in precedenza erano piacevoli) avevano un basso livello di *p11*; ed è risultato dalle autopsie che anche le persone depresse hanno un livello inferiore al normale.

I topi *knockout* del laboratorio di Greengard, ai quali cioè era stato inattivato il gene *p11*, sviluppavano un comportamento di tipo depresso. Il passo successivo è stato verificare se l'introduzione di un gene *p11* funzionante nei topi che lo avevano perduto avrebbe alleviato i sintomi. È un lavoro che Michael Kaplitt, direttore del laboratorio di neurochirurgia molecolare, ha svolto con i colleghi del Weill Cornell Medical College. Kaplitt stava già svolgendo studi simili con la terapia genica nel Parkinson. Usando lo stesso adenovirus, già impiegato per introdurre il gene nei pazienti parkinsoniani, il gruppo di ricerca ha introdotto *p11* direttamente nel nucleo accumbens dei topi privi del gene. Ebbene, il comportamento depresso dei roditori è diminuito.

Ogni neuroscienziato ha una regione cerebrale preferita, e quella di Kaplitt è il nucleo accumbens. Come lui stesso spiega, «l'ho scelta perché è considerata un centro importante della ricompensa e del piacere, dove agisce la dopamina». Un sintomo comune della depressione, l'anedonia – l'incapacità di trarre piacere dalla vita – è fra i più devastanti, aggiunge Kaplitt, ed è legato probabilmente ai segnali della dopamina. Un'altra ragione della scelta del nucleo accumbens è che gli studi con la risonanza magnetica funzionale (fMRI) sugli animali e sull'uomo dimostrano che è collegato a molte regioni del cervello coinvolte nella depressione.

Una terza ragione della preferenza è che questa struttura cerebrale è già stata il bersaglio chirurgico in un altro trattamento sperimentale della depressione, la stimolazione profonda del cervello, o DBS (*deep brain stimulation*). In questo caso un elettrodo è impiantato stabilmente nel nucleo accumbens, attraverso cui sono trasmessi impulsi elettrici periodici.

Kaplitt sostiene che la terapia genica eseguita direttamente nel cervello sarà più semplice della stimolazione profonda perché «invece di un elettrodo si inserirà un piccolo catetere senza lasciare materiale residuo». Per inciso, nella DBS rimane impiantato in modo permanente non solo l'elettrodo, ma anche il neurostimolatore, una specie di *pacemaker* impiantato vicino la clavicola, che genera gli impulsi elettrici. Negli studi sul Parkinson, Kaplitt e colleghi hanno dimostrato che il vettore virale è sicuro e che il gene corretto può essere inviato attraverso un catetere nella regione cerebrale stabilita, generando un miglioramento dei sintomi.

Al NIMH sono i corso studi diretti da Elisabeth A. Murray, del laboratorio di neuropsicologia, e da Pam Noble, addetto alla cura dei primati, per verificare sicurezza ed efficacia della terapia con *p11* nelle scimmie. Un successo incoraggerebbe trial sull'uomo.

Come per *blueberryoctopus*, trattamenti migliori non sono ancora alla nostra portata. «Gli antidepressivi hanno davvero cambiato la mia vita – ha scritto sul sito Experience Project – ma, con mio grande sconforto, a scapito della mia vita sessuale». Non aveva ancora 25 anni. «Mi auguro prima o poi di interrompere l'uso degli antidepressivi e di riprendere una vita normale. Solo che non credo di essere ancora pronta». Ci vorrebbero alternative migliori. Nessuno dovrebbe essere costretto a scegliere tra libido e disperazione; nessuno dovrebbe sentirsi dire, dopo avere provato e abbandonato diverse terapie contro la depressione, che non ci sono altre scelte. Se la promessa degli antidepressivi di prossima generazione diventerà realtà, forse i prezzi da pagare saranno meno amari. ■

PER APPROFONDIRE

Breaking Ground, Breaking Through: The Strategic Plan for Mood Disorders Research of the National Insitute of Mental Health. Bollettino del 2001. Testo in formato PDF sul sito del NIMH, che contiene anche nozioni di base sulla depressione: **www.nimh.nih.gov/about/strategic-planning-reports/breaking-ground-breaking-through-the-strategic-plan-for-mood-disorders-research.shtml.**

Il demone di mezzogiorno. Solomon A., Mondadori, Milano, 2002.

Depression: Out of the Shadows. Documentario trasmesso nel 2008 dalla PBS, che ha un esauriente sito web in cui è possibile guardare il programma e trovare ulteriori informazioni: **www.pbs.org/wgbh/takeonestep/depression/index.html.**

Stress, Depression, and Neuroplasticity: A Convergence of Mechanisms. Pittinger C. e Duman R.S., in «Neuropsychopharmacology Reviews», Vol. 33, pp. 88-109, 2008.

Stuck in a Rut: Rethinking Depression and Its Treatment. Holtzheimer P.E. e Mayberg H.S., in «Trends in Neuroscience», Vol. 34, n. 1, pp. 1-9, novembre 2010.

L'NIMH gestisce un interessante sito interattivo sulla diffusione della depressione (in buona parte di sua creazione), di una serie di altre malattie mentali, e anche sulle opzioni di trattamento: **www.nimh.nih.gov/statistics/index.shtml.**

Sherwin Nuland ha tenuto un seminario ai TED talk sulla depressione (in buona parte suoi studi) e sulla terapia con l'elettroshock (in buona parte sue ricerche): **www.ted.com/talks/lang/eng/sherwin_nuland_on_electroshock_therapy.html.**

Tom Schierlitz/Trunk Archive

La vita nelle profondità

di Aldemaro Romero

Secondo un celebre aneddoto, un giorno uno studente del naturalista francese Georges Cuvier fece irruzione nella camera del suo insegnante vestito da diavolo, corna e zoccoli compresi, gridando: «Cuvier, Cuvier, adesso ti mangio!». E Cuvier, dopo aver guardato il giovane: «Corna, zoccoli, coda: erbivoro. Non puoi mangiarmi». La storia sintetizza quanto strettamente colleghiamo la morfologia degli esseri viventi con il loro stile di vita. Per esempio diamo per scontato che gli animali con gli occhi grandi siano notturni o che le piante con le foglie larghe provengano da ambienti tropicali umidi. È facile quindi pensare che tutte le creature che vivono nel sottosuolo debbano essere cieche e prive di pigmento: dopotutto, che cosa se ne fa di occhi e pigmenti un animale che vive in una perpetua oscurità?

Gli studi condotti negli ultimi decenni indicano però che le cose non sono così semplici; in realtà l'ecologia degli ambienti sotterranei è fortemente diversificata, e i processi evolutivi che regolano l'adattamento a questi ambienti possono risultare sorprendenti, persino alla luce della teoria darwiniana moderna.

Esistono grotte di ogni forma e dimensione, dalle caverne ai tunnel di lava, alle grotte di ghiaccio. Alcuni ambienti sotterranei non sono mai stati esplorati dall'uomo perché privi di un'apertura verso l'esterno, come nel caso di alcuni laghi e fiumi sotterranei chiamati ambienti freatici (dal greco *phrear*, cisterna o pozzo). Le grotte più comuni sono carsiche, o calcaree. Il calcare è una roccia molto solubile (almeno il 50 per cento di carbonato di calcio), quindi viene facilmente modificato dalle piogge con pH acido. Il paesaggio carsico copre il 15 per cento circa delle terre emerse. In Europa si contano 100.000 grotte, e negli Stati Uniti circa 50.000.

In questi ambienti sono già state descritte decine di migliaia di specie, dai batteri ai mammiferi, e molte altre devono ancora essere scoperte, soprattutto adesso che gli scienziati hanno deciso di studiare seriamente gli habitat ricchi di vita e poco conosciuti delle grotte tropicali.

In genere la biospeleologia divide il mondo in due: gli ambienti epigei (*epi-*, sopra; *-geo*, terra) e quelli ipogei (*ipo-*, sotto). I primi comprendono tutto ciò che è esposto in maniera ripetuta alla luce diretta o indiretta del Sole; i secondi includono invece qualsiasi parte della biosfera che si trovi sotto terra. Il mondo ipogeo racchiude quindi il suolo e gli ambienti interstiziali, i sistemi freatici e quelli artesiani, oltre naturalmente alle grotte. Il termine «grotta», in particolare, è riservato agli habitat sotterranei che possono essere esplorati direttamente dall'uomo.

Il livello di esposizione alla luce è una delle variabili che caratterizzano il mondo ipogeo. Dal punto di vista della biospeleologia, l'esistenza di grotte con un'apertura superiore che consente l'ingresso della luce è particolarmente interessante. Nelle zone in cui questa luce interrompe l'oscurità è possibile trovare organismi pigmentati e dotati di occhi, simili agli organismi che si trovano in superficie. A volte questi organismi appartengono a specie tipicamente epigee, altre volte si tratta invece di forme di specie ipogee pigmentate e dotate di occhi.

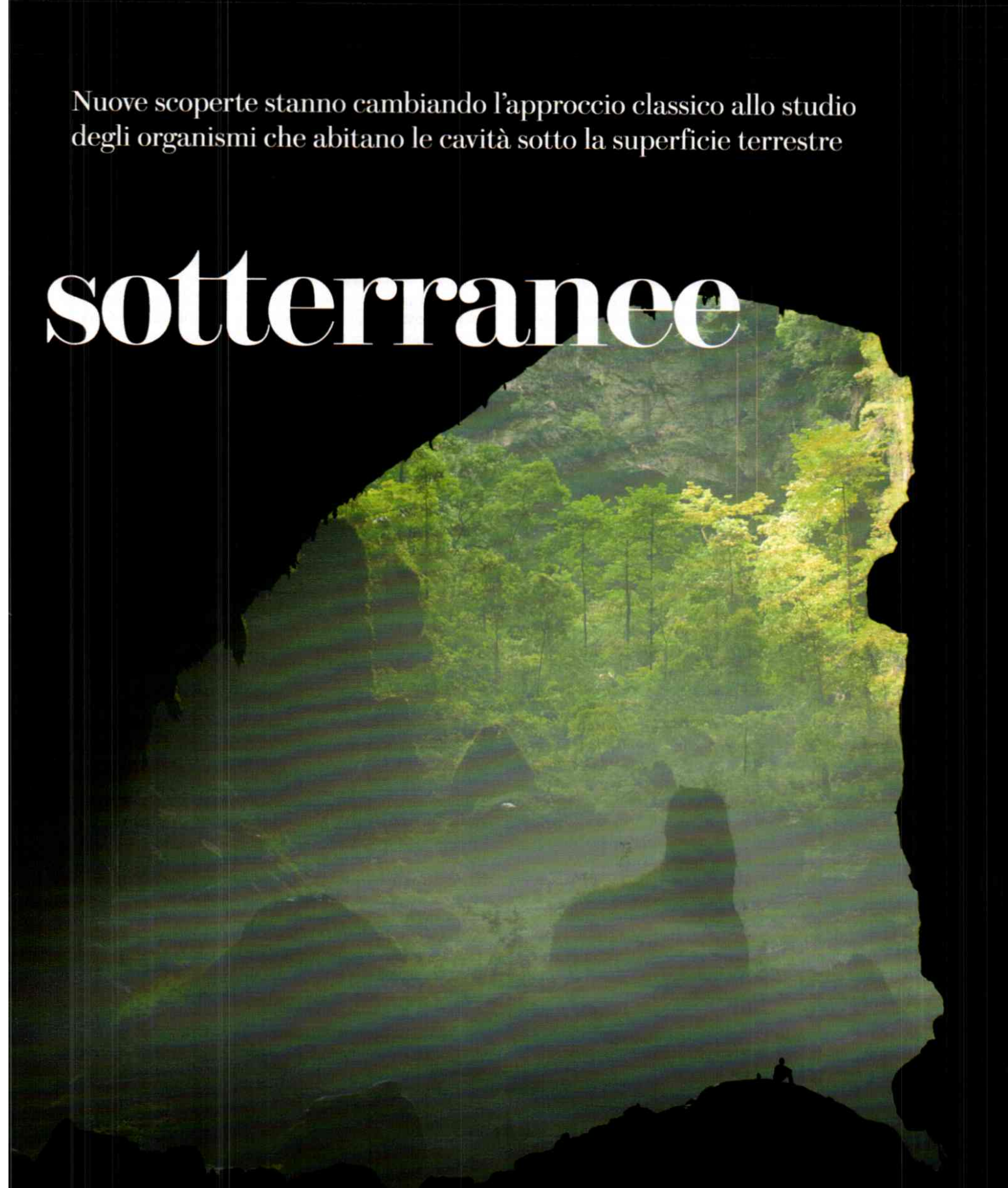
Un esempio di differenziazione morfologica tra individui della stessa specie è *Astyanax fasciatus*, un pesce tetra della famiglia dei caracidi che vive nella grotta Sótano del Caballo Moro, in Messico. In un'epoca imprecisata del passato, una parte della volta della grotta è crollata, permettendo alla luce di illuminare parzialmente uno dei laghi sotterranei presenti all'interno. Oggi gli esemplari ciechi e depigmentati abitano di preferenza la parte buia del lago, mentre quelli pigmentati e dotati di occhi stanno nella parte illuminata. La cosa interessante è che, in base alle analisi condotte, la forma dotata di occhi sembra geneticamente più vicina alla forma cieca con cui condivide la grotta di quanto non lo sia alla forma che vive in superficie. Questa scoperta lascia supporre che i pesci con occhi nella grotta discendano dalla forma cieca, e che abbiano riacquisito occhi e pigmentazione in seguito al crollo della volta e alla conseguente esposizione alla luce.

Gli organismi ipogei vengono raggruppati in base alla morfologia e al comportamento. Il sistema di classificazione più diffuso definisce organismi «troglobiti» quelli che mostrano sempre troglomorfismi, ovvero caratteristiche (o caratteri, secondo il termine usato in tassonomia) associate alle grotte, come la cecità totale e la depigmentazione; organismi «troglofili» quelli che mostrano un

Carsten Peter/National Geographic/Getty Images

Nuove scoperte stanno cambiando l'approccio classico allo studio degli organismi che abitano le cavità sotto la superficie terrestre

sotterranee



Apertura sulle tenebre. La seconda dolina di Hang Son Doong, la grotta più grande del mondo, che si trova nel Phong Nha Ke Bang National Park, in Vietnam, vicino al confine con il Laos.

Aldemaro Romero è preside del College of Arts and Sciences della Southern Illinois University di Edwardsville, dove insegna scienze biologiche. Ha conseguito un dottorato in biologia all'Università di Miami ed è autore di quasi 600 articoli di ricerca.
L'originale di questo articolo è stato pubblicato sul numero di marzo-aprile 2011 di «American Scientist».

certo grado di riduzione in questi caratteri; organismi «troglossenì» quelli che non mostrano alcuna riduzione pur trascorrendo una parte significativa della propria vita sotto terra (per esempio alcune specie di pipistrelli); «cavernicoli accidentali» quelli che capitano occasionalmente nelle grotte ma non vi risiedono normalmente. Si noti che accidentali è una definizione di comodo, perché comprende anche gli esemplari di specie che entrano per la prima volta in una grotta e poi vi si stabiliscono. Esistono inoltre molte specie animali che trascorrono l'intera vita sotto terra ma non mostrano alcuna delle caratteristiche morfologiche normalmente associate agli habitat sotterranei.

Cercando un archetipo che potesse definire tutti gli organismi delle grotte, i biospeleologi si sono concentrati su troglomorfismi diffusi come la cecità o la depigmentazione. Bisogna tuttavia chiedersi se possa davvero esistere un solo archetipo valido per tutti gli organismi ipogei e, in caso di risposta affermativa, quale rilevanza evolutiva possa avere.

Gran parte delle ricerche pubblicate sull'argomento usa una serie ricorrente di caratteri troglomorfi per definire gli organismi delle grotte (*si veda il box in basso nella pagina a fronte*). Ci sono però vari elementi che contrastano con l'idea di un archetipo ipogeo, primo fra tutti il fatto che i caratteri fenotipici di questi organismi possono certo ridursi, ma in alcuni casi anche amplificarsi. Non c'è una regola fissa. La maggior parte dei cambiamenti morfologici è associata all'assenza di luce. La riduzione degli organi visivi, che siano occhi od ocelli (strutture primitive presenti in alcuni invertebrati), è considerata una regola costante nelle forme di vita troglomorfe, eppure ci sono molte eccezioni, come *Sinocyclocheilus macrophthalmus*, un pesce della famiglia dei ciprinidi. Altre specie dello stesso genere che vivono nelle grotte della Cina sono depigmentate e cieche, o mostrano una riduzione degli occhi, ma questa particolare specie, sebbene sia depigmentata, ha gli occhi più grandi di tutte, comprese le specie epigee. Occhi di grandi dimensioni sono un adattamento insolito per un pesce, ma molto diffuso tra i vertebrati notturni.

Nemmeno per gli altri organi di senso c'è una regola fissa che caratterizzi tutti gli organismi troglomorfi. Il pesce gatto cieco del Texas *Trogloglanis pattersoni*, per esempio, ha barbigli (organi di senso simili a baffi) piuttosto piccoli, mentre la maggior parte dei pesci gatto ipogei tende ad avere barbigli più grandi delle specie epigee. Analogamente, il metabolismo è in genere più lento nei troglomorfi, ma nel caracide cieco messicano *A. fasciatus* è quasi due volte più veloce che nella forma epigea.

Il livello di troglomorfismi come la cecità o la depigmentazione può variare molto tra specie differenti. Anni fa, insieme a Kelly Paulson, analizzai le 86 specie di pesci troglomorfi note all'epoca, scoprendo che solo sette avevano lo stesso livello di troglomorfismo in ognuno dei caratteri esaminati. Inoltre, dopo avere unito tutti i caratteri per formare un paesaggio fenotipico, notammo un'elevata variabilità nel loro sviluppo. Questo ci portò a mettere in dubbio l'ipotesi secondo cui i caratteri troglomorfi si sviluppano sempre in parallelo (*si veda il grafico a p. 90*): era evidente che per spiegare un tale mosaico di morfologie bisognava tenere conto sia della storia evolutiva delle specie in questione sia delle peculiarità dell'ambiente in cui vivevano.

A complicare ulteriormente le cose c'è il fatto che un alto numero di specie ipogee non mostra alcun tipo di troglomorfismo. Per esempio, in base a dati aggiornati ad agosto 2008 ci sono 299 specie di pesci negli ambienti ipogei, ma solo 184 mostrano qualche tipo di troglomorfismo. In altre parole, più di un terzo delle specie ipogee di pesci ha occhi e pigmentazione normali.

Un'altra variabile che genera confusione è che non tutti i troglomorfismi possono essere attribuiti direttamente all'assenza di luce. Un esempio è la riduzione o la perdita delle squame nei pesci ipogei. La riduzione della vescica natatoria, altra caratteristica tipica di questi animali, può invece essere spiegata in maniera funzionale: le acque sotterranee tendono infatti a essere poco profonde, per cui il valore adattativo di questo organo sparisce.

Il quadro che emerge dagli elementi appena elencati è complesso, se non addirittura contraddittorio, e non lascia spazio a generalizzazioni sui fenotipi della fauna ipogea. In altre parole, non esistono organismi ipogei archetipici e non si possono fare affermazioni assolute sul modo in cui ogni tratto influenza la *fitness* individuale. La selezione naturale non permette predizioni così facili.

La conquista delle grotte

La colonizzazione degli ambienti ipogei è un fenomeno biologico ricco di controversie e speculazioni, soprattutto perché è difficile osservarlo in condizioni naturali. Inoltre la maggior parte dei biospeleologi, la cui esperienza è limitata a grotte delle zone temperate caratterizzate da bassi livelli di energia, è sempre partita dal presupposto che non ci fosse alcun motivo ragionevole per cui un organismo dovrebbe occupare un ambiente povero di nutrienti. Di conseguenza, molti si sono convinti che la colonizzazione dell'ambiente ipogeo avvenisse solo per caso o in circostanze insolite. Ma le osservazioni sul campo contraddicono queste ipotesi.

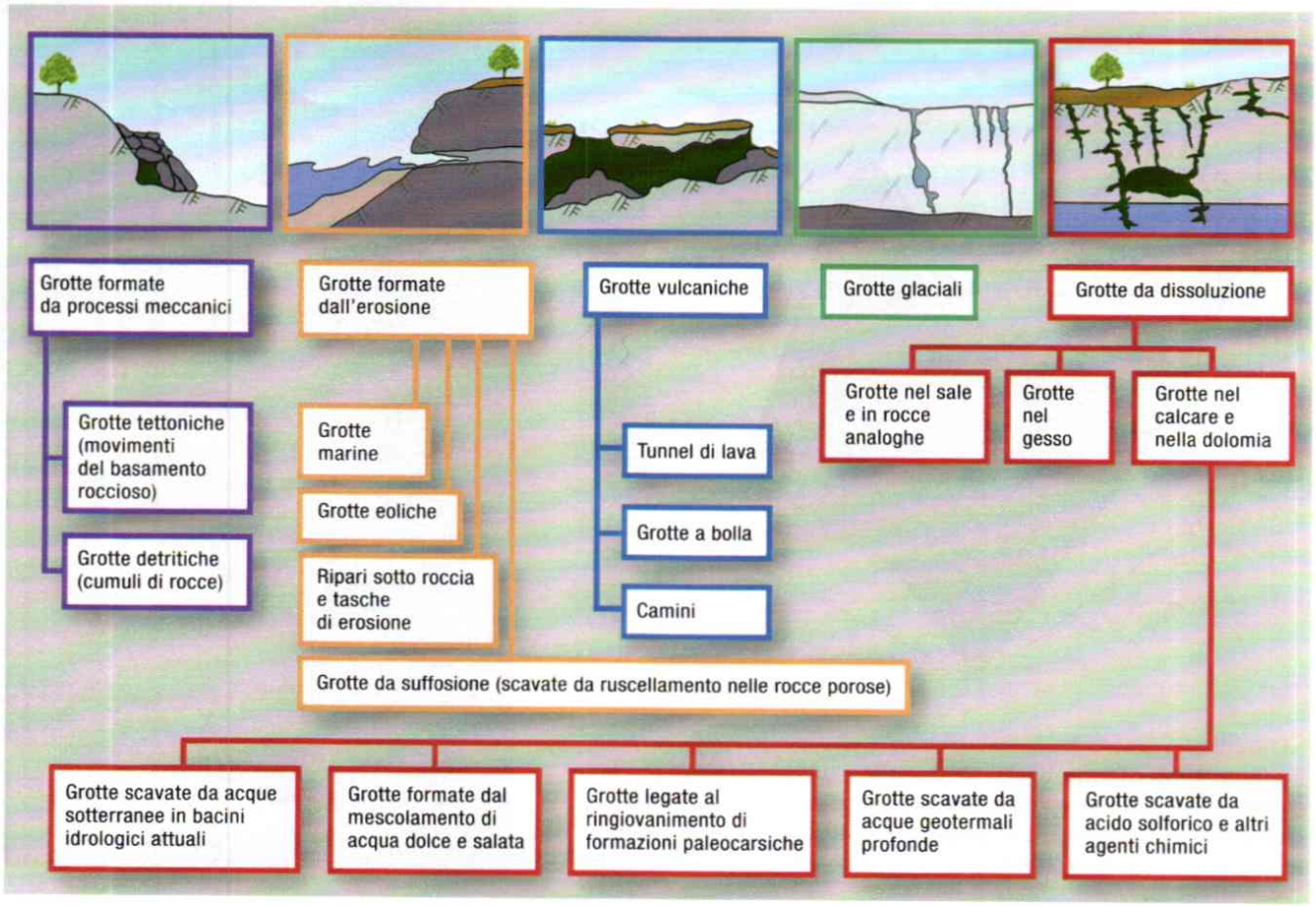
Secondo una delle argomentazioni a favore della colonizzazione accidentale, una volta che gli organismi arrivano in un ambiente ipogeo ci restano solo se sono intrappolati. Tuttavia, sia che ci arrivino volando come gli insetti, camminando come gli artropodi o strisciando come le salamandre, non ci sono particolari ostacoli che impediscano loro di percorrere la stessa strada all'indietro

IN BREVE

Le grotte sembravano ambienti poco adatti alla vita, quindi scarsamente abitati e comunque esclusivamente da organismi ciechi e privi di pigmento.

L'ecologia degli ambienti sotterranei si è invece dimostrata, in accordo con le ricerche condotte negli ultimi decenni, assai diversificata, e i processi evolutivi che regolano l'adattamento a questi ambienti sono sorprendenti.

Fino a oggi sono state descritte decine di migliaia di specie viventi in ambienti del genere e molte altre ancora devono essere scoperte, dato che i biospeleologi hanno deciso di studiare in modo approfondito gli habitat ricchi di vita e poco conosciuti delle grotte tropicali.



Dinamiche di formazione. Le grotte si formano nei punti in cui la Terra è scavata, spaccata, consumata, ammassata, sciolta o fatta esplodere da eventi vulcanici. Spesso gli organismi che entrano nelle grotte si liberano dei predatori, ma devono affrontare sfide ecologiche ancora più difficili: oltre che con l'oscurità totale, dovranno convivere con un'energia dell'ecosistema complessivamente più bassa, una scarsa biodiversità e un'idrologia molto particolare. Tuttavia, quasi tutte le grotte ospitano un buon numero di forme di vita.

	Morfologico	Fisiologico	Comportamentale
Ridotto o perduto	Occhi, ocelli (occhi primitivi di invertebrati) Centri visivi del cervello Pigmentazione Ghiandola pineale Dimensioni corporee Cuticole (artropodi terrestri) Squame (pesci) Vescica natatoria (pesci)	Metabolismo Ritmo circadiano Fecondità Volume delle uova	Risposta alla luce Gregarismo Risposta a sostanze di allarme Aggressività
Ingrandito/ aumentato	Sensori chimici e meccanici Appendici Dimensioni corporee	Durata della vita Accumulo dei lipidi	

Troglomorfismi: una definizione. I troglomorfismi sono caratteri associati alla vita nelle grotte; sono costituiti da cambiamenti adattativi del metabolismo, dello sviluppo, del comportamento e della struttura e funzione degli organi.

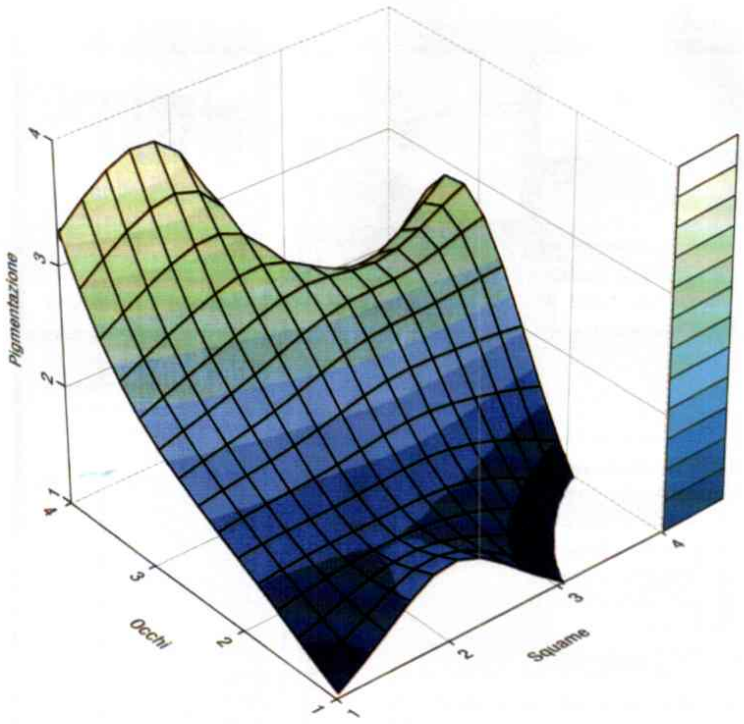
e tornare all'habitat originario. L'ipotesi dell'intrappolamento accidentale non è altro che una debole generalizzazione del processo di colonizzazione delle grotte.

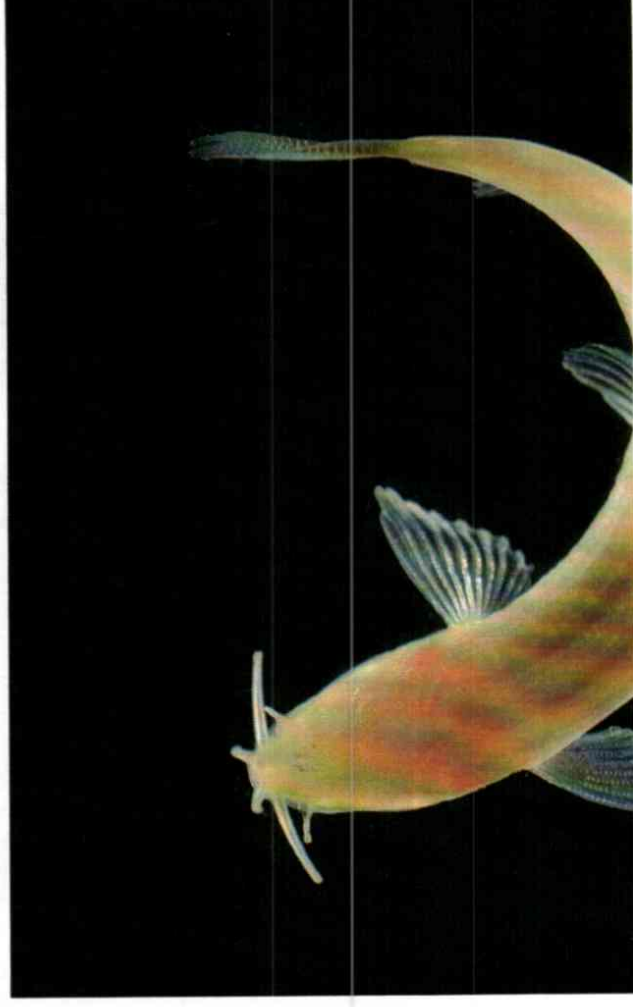
Ci sono osservazioni sul campo che appoggino uno specifico meccanismo che spieghi la colonizzazione degli ambienti ipogei? Ho studiato un piccolo lago in Costa Rica alimentato da una sorgente freatica nascosta sotto una bassa volta rocciosa. I circa 120 esemplari di pesci tetra messicani epigei *A. fasciatus* che vivevano nel laghetto erano morfologicamente identici agli altri tetra epigei, con occhi e pigmentazione perfettamente normali. Tuttavia, al contrario della tipica popolazione epigea, i pesci del laghetto non formavano banchi. La formazione di banchi è un comportamento spesso perduto nelle popolazioni ittiche delle grotte.

Inoltre, quando ho fatto cadere cibo nell'acqua i pesci, quasi senza eccezione, lo hanno trasportato nella parte sotterranea del lago prima di mangiarlo. Numerose osservazioni ed esperimenti indicano che i pesci, oltre a spingere il cibo nella cavità sotterranea, vi trovino riparo di notte per sfuggire ai pipistrelli pescatori della specie *Noctilio leporinus*. Questo suggerisce che i tetra stessero gradualmente colonizzando le acque sotterranee in risposta a pressioni selettive, non in seguito a un'esposizione accidentale.

L'ipotesi di una colonizzazione attiva è stata proposta anche per le caverne ghiacciate delle regioni temperate. Le salamandre della famiglia *Plethodontidae* che abitano l'altopiano statunitense del

Cortesia «American Scientist»





Sviluppi non paralleli. Un tempo i biologi credevano che i troglomorfismi più frequenti dipendessero da una causa comune, e che quindi emergessero in parallelo. L'irregolarità di questo grafico, che rappresenta l'espressione di tre caratteri in specie note di pesci troglomorfi, illustra invece che lo sviluppo dei troglomorfismi non segue quasi mai un andamento parallelo.

Cumberland, per esempio, sfruttano sia gli ambienti epigei sia le grotte, che usano per ripararsi nei periodi più caldi e secchi.

Da un punto di vista ecologico, alcune popolazioni troglomorfe potrebbero essere facilmente sostituite dalla loro variante epigea, a volte molto velocemente, anche nei casi in cui la forma epigea è il presunto antenato della popolazione ipogea in questione. Un caso del genere si osserva tra i pesci gatto ipogei *Rhamdia quelen*, che vivono in una grotta di Trinidad. Descritti per la prima volta nel 1926, in base alla ridotta pigmentazione e allo scarso sviluppo degli occhi furono inseriti in un nuovo genere e specie troglomorfi, *Caecorhamdia urichi*. A partire dagli anni cinquanta, però, un certo numero di esemplari iniziò a mostrare una variabilità nelle dimensioni degli occhi e nella pigmentazione.

Studi successivi rivelarono che la popolazione faceva in realtà parte della specie *Rhamdia quelen*, che vive in superficie e ha occhi e pigmentazione normali. Nel 2000 e 2001 ho esaminato tutti gli esemplari disponibili di questa popolazione, scoprendo che la popolazione troglomorfa era stata sostituita dalla forma epigea della stessa specie in appena cinquant'anni. La ragione più probabile di questa sostituzione è un'invasione di esemplari epigei di *R. quelen* dovuta a cambiamenti nelle precipitazioni piovose. Grazie alle dimensioni maggiori, al comportamento più aggressivo e alle abitudini alimentari più eclettiche, gli esemplari epigei avevano vinto senza problemi la competizione con i troglomorfi.

Un altro quesito riguarda le specie ipogee che abitano in più grotte (collegate o isolate). Sono il prodotto di un'unica colonizzazione seguita da dispersione ipogea oppure di più colonizzazioni separate? Studi di genetica molecolare eseguiti su crostacei, insetti e pesci sotterranei suggeriscono che in genere si tratti del prodotto di più invasioni successive da parte della stessa specie epigea.

L'ipotesi del preadattamento

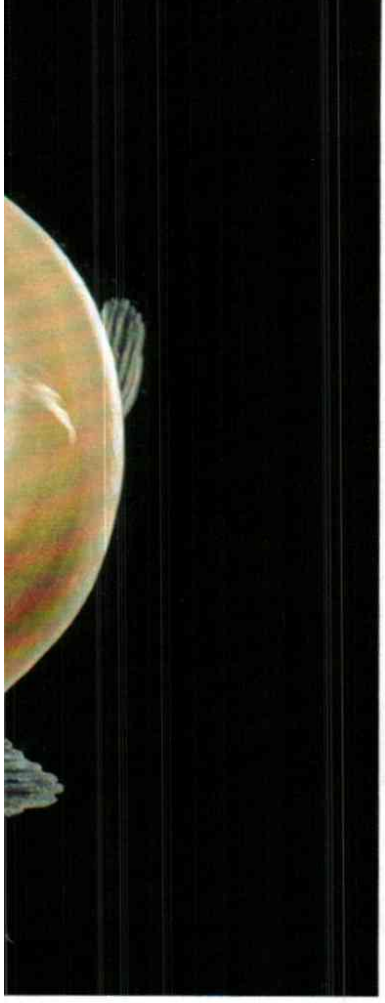
Alcune specie hanno più probabilità di successo di altre nella colonizzazione degli ambienti ipogei? E perché alcune specie subiscono importanti cambiamenti fenotipici mentre altre rimangono simili ai propri antenati epigei?

Un concetto molto usato dai biospeleologi è quello di preadattamento. L'idea è che molti organismi hanno caratteristiche che permettono loro di adattarsi facilmente a un particolare ambiente o stile di vita: gli animali notturni, per esempio, sarebbero «preadattati» agli ambienti bui delle grotte. Non è chiaro però se un organismo debba per forza essere preadattato a un determinato ambiente per riuscire a colonizzarlo.

Insieme ai miei collaboratori abbiamo verificato l'ipotesi del preadattamento tra i pesci troglomorfi. Esaminando gli studi sull'argomento abbiamo scoperto tre caratteristiche che erano generalmente classificate come «preadattamenti» per gli ambienti ipogei e che si potevano trovare singolarmente, in coppia o tutte insieme: ipersviluppo degli organi di senso, metabolismo lento e abitudini notturne. Abbiamo poi raggruppato le 86 specie troglomorfe di pesci note all'epoca nelle loro 18 rispettive famiglie e abbiamo cercato i tre caratteri «preadattativi», scoprendo che erano presenti solo in 10 delle 18 famiglie. Abbiamo concluso che i supposti preadattamenti all'ambiente ipogeo non sono né necessari né sufficienti affinché una specie colonizzi un habitat sotterraneo.

Alcune specie mostrano addirittura caratteristiche contrarie all'idea di preadattamento. Il tetra messicano è uno degli organismi trogloditi più studiati. La specie è sia epigea (con occhi e pigmentazione) sia ipogea (in genere, ma non sempre, cieca e depigmentata). La forma epigea è distribuita su una vasta area dell'America, dall'Argentina al Texas. Sebbene popolazioni con occhi siano sta-

Barbara Aulicino e Aldemaro Romero (*grafico*); Carsten Peter/National Geographic/Getty Images (*pesce cieco*)



I pesci e il loro ambiente. Il pesce *Astyanax fasciatus* è privo di occhi, un tratto morfologico tipico degli organismi che vivono costantemente nell'oscurità. Anche Charles Darwin cercò di spiegare la perdita di apparati morfologici dovuta all'evoluzione in ambiente sotterraneo, fenomeno da lui definito come «rudimentazione». Il lavoro svolto sul campo dai biospeleologi e i progressi della genetica dello sviluppo stanno rinnovando molti aspetti della biologia. A sinistra, un pesce senza occhi scoperto nella Hang Son Doong, la grotta più grande del mondo, che si trova nel Vietnam occidentale, non lontano dal confine con il Laos.

Martin Shields/Photo Researchers

te trovate anche in altre zone, l'unica in cui si è sviluppata la forma cieca e depigmentata è il Messico centro-orientale, dove occupa oltre 30 grotte. Le popolazioni cavernicole di quest'area però non mostrano tutte lo stesso livello di divergenza morfologica dalla forma di superficie: alcune sono completamente cieche e depigmentate, altre solo parzialmente. In tre grotte ci sono solo esemplari con occhi e pigmentazione normali; 11 popolazioni hanno esemplari con occhi, esemplari ciechi e forme fenotipicamente intermedie; infine, almeno una popolazione ha sia esemplari con occhi sia esemplari ciechi, ma nessuna forma intermedia.

A parte cecità e depigmentazione, tra la forma troglomorfa e quella superficiale del tetra ci sono molte altre differenze. Per esempio le popolazioni troglomorfe hanno un numero maggiore di papille gustative, non si raccolgono in banchi, sono attive a qualsiasi ora e non sono aggressive. Come quella di superficie, anche la forma cieca produce una sostanza di allarme, però non mostra alcuna risposta a essa. Inoltre, tra le popolazioni sono state notate differenze tra i livelli di risposta fototattica, a conferma del fatto che anche le forme cieche riescono a percepire la luce (il livello di risposta dipende in modo specifico da ciascuna popolazione).

Le forme superficiali e troglomorfe di *A. fasciatus* sono interfeconde sia in natura sia in cattività, e generano ibridi fertili che nella prima generazione (F1) mostrano fenotipi intermedi. Nella generazione F2 (dopo l'autoincrocio), gli esemplari variano da una forma quasi cieca e depigmentata a una con occhi e pigmentazione quasi sviluppati. Anche studi genetici sostengono l'idea che le forme epigea e ipogea siano la stessa specie.

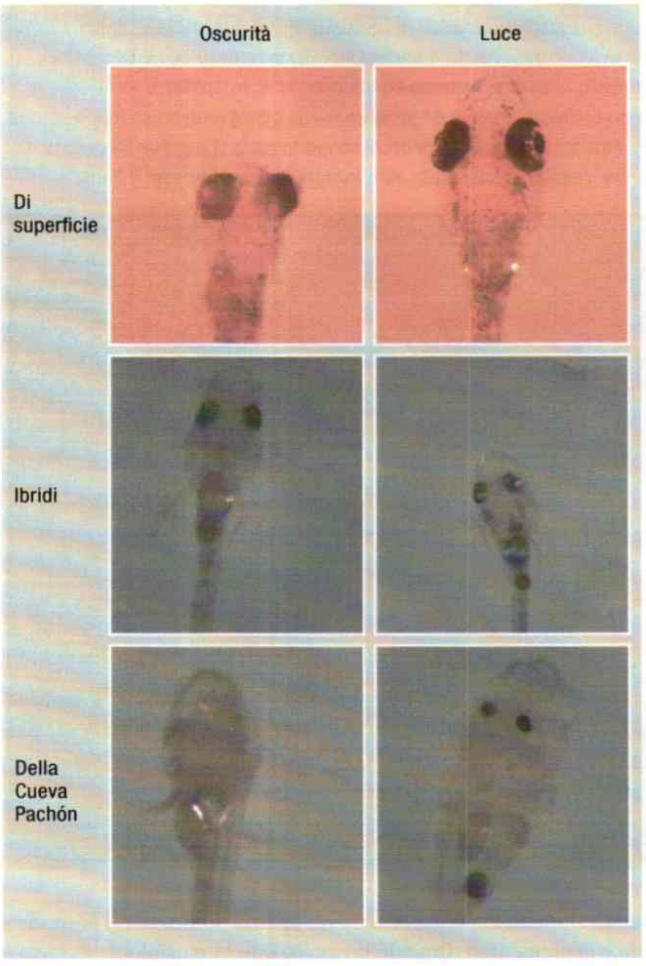
Questo complesso quadro biologico è complicato nel tempo, oltre che nello spazio. Quando, nel 1936, fu descritta per la prima volta la forma troglomorfa di *A. fasciatus*, l'intera popolazione del luogo studiato era composta da un insieme uniforme di pesci ciechi e depigmentati. Quando ho analizzato la morfologia di esemplari raccolti tra 1936 e 1942 con quella di pesci raccolti da me nel 1982 ho scoperto che la popolazione di una delle grotte si era evoluta, in 43 anni o anche meno, in una popolazione intermedia composta da esemplari parzialmente ciechi e depigmentati. Ne ho concluso che la nuova forma era il risultato di un'ibridazione introgressiva, cioè del trasferimento di geni da una popolazione all'altra attraverso ripetuti incroci. Probabilmente il trasferimento iniziò nel 1940, in seguito all'invasione dell'ambiente sotterraneo da parte di individui epigei.

Con tutte queste informazioni a disposizione, nessuno ha mai fornito una descrizione convincente delle presunte caratteristiche preadattative dell'antenato epigeo di *A. fasciatus*. Inoltre, se la forma epigea di *A. fasciatus* fosse stata effettivamente preadattata, perché ha dovuto effettuare cambiamenti morfologici, fisiologici e comportamentali così drastici per vivere sotto terra?

Perdere per guadagnare

È arrivato il momento di affrontare la questione più avvincente della biospeleologia: perché durante l'evoluzione degli organismi trogloditi alcuni caratteri fenotipici scompaiono. Un fenomeno biologico raramente citato negli studi e che, secondo me, riveste un ruolo importante sia nella diversificazione delle forme di ciascuna specie sia nell'evoluzione della fauna sotterranea in generale, è la plasticità fenotipica. Diverse osservazioni su specie ipogee hanno suggerito che queste specie e i relativi antenati epigei possono rispondere alla presenza o assenza di luce durante lo sviluppo della pigmentazione e dell'apparato visivo.

Per confermare queste osservazioni, con i miei collaboratori ab-



Plasticità del fenotipo. Esempio di plasticità fenotipica nello sviluppo di tessuto oculare e pigmentazione in tre diverse popolazioni di *A. fasciatus*. Le larve sono state fatte sviluppare in condizioni diverse di luminosità (30 giorni di luce o di buio dalla nascita). Nella specie di superficie, gli occhi si sono sviluppati di meno quando le larve sono cresciute al buio; nella specie di grotta, normalmente priva di occhi, è invece visibile uno sviluppo iniziale del tessuto oculare nelle larve cresciute alla luce. Sopra, un dipluro ipogeo, i cui organi sono facilmente visibili attraverso la cuticola depigmentata.

biamo sottoposto a condizioni di luce controllate larve di *A. fasciatus* di 24 ore di età provenienti da tre diverse popolazioni: epigea (con occhi, pigmentata), troglomorfa (cieca, depigmentata) e ibrida. Per 30 giorni abbiamo esposto alcune larve alla luce in modo continuo, mentre altre sono state lasciate nella totale oscurità. Alla fine dell'esperimento gli occhi delle larve epigee fatte crescere in condizioni di oscurità totale erano assai meno sviluppati rispetto a quelli di larve epigee cresciute con illuminazione costante. Il risultato più spettacolare però lo abbiamo ottenuto con le larve ipogee. Quelle cresciute in oscurità totale non mostravano alcuno sviluppo di tessuto oculare, come invece abbiamo notato nelle larve ipogee cresciute in condizioni di luce costante.

Questo risultato suggerisce che molti animali troglomorfi potrebbero essersi evoluti da specie epigee per plasticità fenotipica. Questa conclusione tra l'altro è coerente con il fatto che l'assenza di luce può causare eterocronia, cioè variazioni temporali nello sviluppo dei caratteri. Esempi di plasticità fenotipica si possono osservare in animali pedomorfi (animali che non raggiungono la maturità morfologica e si riproducono prima di diventare adulti) e neotenici (animali con crescita rallentata), e molti organismi delle grotte appartengono a queste due categorie. La maggior parte delle salamandre troglobie, per esempio, è pedomorfa, e la metà di tutte le salamandre pedomorfe note è troglomorfa. La neotenia tra gli animali ipogei, soprattutto i pesci, è ben documentata. Gli esemplari che vivono in questi ambienti acquisiscono un vantaggio diventando pedomorfi, perché possono riprodursi prima durante il loro ciclo di vita. Mentre lo svantaggio, rappresentato da una minore capacità di autodifesa, è in realtà poco influente, perché in genere non ci sono predatori naturali.

Questi esempi rafforzano l'idea che i troglomorfismi siano il risultato di una vera e propria selezione naturale e non di un semplice decadimento di un fenotipo. Sappiamo che la norma di reazione (la direzione e il grado di un cambiamento fenotipico in risposta ai fattori ambientali) dipende da variabili genetiche ed è soggetta alla selezione naturale. Quest'ultima può infatti favorire gli esemplari che hanno maggiore capacità di esprimere determinati tratti in determinate condizioni. Un fenotipo plastico fornisce quindi un vantaggio riproduttivo rispetto a un fenotipo geneticamente prestabilito, perché offre maggiori probabilità di adattarsi alle condizioni esterne.

A mio parere la selezione naturale favorisce gli individui pedomorfi e neotenici fissando gli alleli di questo tipo nelle popolazioni che vivono nelle grotte. Considerato che in questi ambienti quasi tutte le popolazioni sono piccole e soggette a pressioni selettive molto simili, il processo evolutivo può avvenire in tempi brevi.

Questa spiegazione è confermata anche dalla natura convergente dei caratteri troglomorfi. La convergenza evolutiva è una prova di adattamento per selezione naturale. Nel tempo, l'isolamento potrebbe portare a speciazione attraverso una differenziazione genetica rispetto all'antenato epigeo. È quindi probabile che molti degli attuali organismi troglomorfi abbiano invaso gli ambienti ipogei di recente, perché la loro origine epigea è facilmente rilevabile e le popolazioni ipogee ed epigee possono addirittura incrociarsi producendo ibridi fertili.

Cortesia Aldemaro Romero (*larve*); Dante Fenolio (*dipluro*)

Biodiversità inaspettata. Un rondone caduto sul fondo della Deer Cave, nel Sarawak, in Borneo, è subito ridotto a uno scheletro da blatte e coleotteri.

Tra l'altro, è possibile osservare gli stessi tipi di cambiamenti dovuti alla selezione nei pesci abissali e in quelli che vivono in acque torbide, entrambi soggetti alla riduzione o alla perdita degli occhi e della pigmentazione.

Tuttavia si osserva che l'evoluzione dei caratteri troglomorfi non avviene in parallelo ma produce uno schema irregolare. Perché? Anzitutto questi caratteri sono controllati da gruppi di geni indipendenti tra loro. Inoltre, il grado di sviluppo di alcuni di questi caratteri (per esempio, i barbigli nei pesci) sono condizionati dalla loro storia filogenetica. Infine, le pressioni selettive a cui ciascuno di questi caratteri è soggetto varia da grotta a grotta.

Che dire poi delle specie non troglomorfe che vivono in ambienti ipogei? Sappiamo che nelle popolazioni naturali la plasticità fenotipica, che dipende dalla variabilità genetica, è molto variabile ed è soggetta a selezione naturale. Inoltre, la variabilità genetica per la plasticità fenotipica è diffusa, e in una stessa popolazione ci può essere variabilità genetica per la plasticità di un tratto e invarianza per la plasticità di un altro tratto collegato alla medesima variabile ambientale. Questo potrebbe spiegare la complessità di risposte fenotipiche osservata tra organismi ipogei: per esempio, se è presente un elevato livello di cecità ma pochissima depigmentazione è perché i geni che controllano il primo tratto sono molto plastici, mentre quelli che controllano il secondo non lo sono.

La capacità di esemplari di specie troglomorfe di recuperare una parte dei tessuti oculari e della pigmentazione si potrebbe spiegare ammettendo che alcune popolazioni, pur essendo ecotipi (cioè popolazioni che si sono specializzate geneticamente per vivere in un determinato ambiente), hanno mantenuto la capacità di alterare il proprio fenotipo. Questo concetto è coerente con le nostre conoscenze sulla genetica delle popolazioni di *A. fasciatus*, in cui osserviamo fenotipi drasticamente diversi (epigeo e troglomorfo). Il tipo troglomorfo potrebbe essere definito un ecotipo. Un genotipo fenotipicamente plastico potrebbe portare a quello che sembra un ecotipo in seguito all'esposizione a condizioni ambientali estreme. È quindi possibile che all'interno di un certo intervallo di condizioni ambientali possa verificarsi una sostanziale convergenza tra le norme di reazione di popolazioni diverse.

La plasticità inoltre potrebbe (e dovrebbe) essere mantenuta in ambienti soggetti a variazioni, specialmente se sono variazioni prevedibili. Un'altra idea molto diffusa sugli ambienti ipogei è infatti che le condizioni nelle grotte siano così costanti da non mostrare alcuna variazione ecologica. Una simile semplificazione è però sempre meno accettabile: le inondazioni, per esempio, sono un evento periodico relativamente frequente che introduce nelle grotte una notevole variazione delle condizioni ecologiche.

Non deve stupire che gli organismi ipogei che mostrano un'evidente plasticità fenotipica siano tutti acquatici, come spugne, gamberi, pesci o salamandre. È normale che nelle grotte tropicali ci siano costanti (ma prevedibili) variazioni del livello dell'acqua dovute alla variazione stagionale delle precipitazioni. Questo spiegherebbe tra l'altro perché ci siano più specie/popolazioni troglomorfe alle basse latitudini che nelle regioni temperate.

Le grotte rappresentano laboratori naturali unici, che in passato hanno contribuito a ispirare nuove ipotesi biologiche e ancora oggi sono un eccellente punto di partenza per confermare ed espandere le nostre idee sull'evoluzione della vita sulla Terra. Con l'esplorazione di nuove grotte tropicali e subtropicali possiamo stare certi che emergeranno altre testimonianze dell'incredibile creatività e del sapiente opportunismo dell'evoluzione biologica. ■

PER APPROFONDIRE

Cave biology: life in darkness. Romero A., Cambridge University Press, 2009.

The hypogean fishes of China. Romero A., Zhao Y. e Chen X., in «Environmental Biology of Fishes», Vol. 86, pp. 211-227, 2009.

The end of regressive evolution: examining and interpreting the evidence from cave fishes. Romero A. e Green S.M. in «Journal of Fish Biology», Vol. 67, pp. 3-32, 2005.

Replacement of the troglomorphic population of Rhamdia quelen (Pisces: *Pimelodidae*) by an epigean population of the same species in the Cumaca Cave, Trinidad, W.I. Romero A. e altri in, «Copeia», pp. 938-942, 2002.

Cavefish as a model system in evolutionary developmental biology. Jeffery W.R., in «Developmental Biology», Vol. 231, pp. 1-12, 2001.

Behavior in an «intermediate» population of the subterranean-dwelling characid *Astyanax fasciatus*. Romero A., in «Environmental Biology of Fishes», Vol. 10, pp. 203-207, 1984.

Cortesia Aldemaro Romero

INFORMATION TECHNOLOGY

Una rete ombra per Internet

I governi e le aziende hanno un controllo sempre maggiore su Internet. Ora gli attivisti della rete vogliono costruire una rete alternativa impossibile da bloccare, filtrare, o disattivare

di Julian Dibbell

IN BREVE

Internet fu progettata come sistema decentralizzato: ogni nodo avrebbe dovuto essere connesso a molti altri. Questo disegno intendeva rendere il sistema resistente alla censura o ad attacchi esterni.

Invece, in pratica, la maggior parte dei singoli utenti si trova ai bordi della rete, ognuno collegato agli altri solo attraverso il servizio commerciale che fornisce la connettività. Se si blocca questo collegamento, l'accesso a Internet sparisce.

Un'altra opzione sta iniziando a emergere, sotto forma di reti senza fili a maglie (*wireless mesh networks*), sistemi semplici che collegano gli utenti finali gli uni agli altri e aggirano automaticamente censure e tentativi di bloccare la comunicazione.

Ma ogni rete a maglie deve raggiungere una certa massa critica di utenti prima di funzionare a dovere: gli sviluppatori devono convincere i potenziali utenti a barattare la facilità d'uso con una maggiore libertà e riservatezza.

Julian Dibbell scrive di Internet e di cultura digitale da quasi vent'anni. Ha pubblicato *Play Money: Or How I Quit My Day Job and Made Millions Trading Virtual Loot* (2006) e ha curato *The Best Technology Writing* (2010).

Poco dopo la mezzanotte del 28 gennaio 2011, il governo egiziano, provato da tre giorni ininterrotti di proteste contro il regime organizzate anche attraverso Facebook e altri social network, fece una cosa mai accaduta nella storia delle telecomunicazioni del XXI secolo: spense Internet. Rimane da chiarire esattamente come ci riuscì, ma gli indizi suggeriscono che bastarono cinque telefonate agli interlocutori giusti: una a ciascuno dei principali fornitori commerciali di accesso Internet (ISP) del paese. Alle 00:12 ora del Cairo, come mostrano le registrazioni del flusso di dati sulla rete, il fornitore più importante, Telecom Egypt, iniziò a chiudere le connessioni tra i suoi clienti e il resto di Internet, e nei 13 minuti successivi gli altri quattro fornitori fecero lo stesso. Alle 00:40 l'operazione era completata: si stima che a quel punto circa il 93 per cento della rete egiziana fosse irraggiungibile. Al sorgere del sole, la mattina dopo, i manifestanti si avviarono verso piazza Tahrir in un'oscurità digitale quasi assoluta.

L'oscuramento di Internet ebbe scarse conseguenze sia dal punto di vista strategico sia da quello tattico: quel giorno la folla era più numerosa che mai, e alla fine i manifestanti ebbero la meglio. Ma come dimostrazione pratica della vulnerabilità di Internet al controllo dall'alto il blackout è stato una lezione istruttiva, preoccupante e probabilmente tardiva.

È stato detto molto sulla resistenza di Internet al controllo centrale. Le origini tecnologiche della rete, viene ricordato talvolta, affondano nella guerra fredda e nella conseguente ricerca di un'infrastruttura di telecomunicazione così robusta che nemmeno un attacco nucleare sarebbe stato in grado di distruggerla. Benché sia vera solo in parte, questa storia spiega qualcosa della forza intrinseca nell'elegante design decentralizzato di Internet. Grazie alla molteciplicità e alla ridondanza dei percorsi possibili tra due nodi qualsiasi, e alla capacità di fare velocemente spazio a nuovi nodi, il protocollo TCP/IP che definisce Internet dovrebbe garantire che la rete continui a trasportare dati indipendentemente da quanti nodi sono resi inutilizzabili, sia per lo scoppio di una bomba atomica o per la censura di un regime repressivo. Un attivista dei diritti digitali, John Gilmore, ha descritto questa caratteristica con un'espressione divenuta famosa: «Internet interpreta la censura come un guasto, e ci gira attorno».

Ed è esattamente quello che è stata progettata per fare. Eppure, se cinque telefonate possono tagliare l'accesso a Internet di 80 milioni di egiziani, vuol dire che nella pratica le cose non sono andate proprio così. Il blackout egiziano è solo l'esempio più clamoroso in una lista di eventi sempre più lunga che dimostrano quanto Internet sia vulnerabile al controllo dall'alto. Durante la rivolta in Tunisia, il mese prima, le autorità usarono un metodo più chirurgico, bloccando solo alcuni siti. Nel caso delle proteste del 2009 in Iran, dopo le elezioni, il governo iraniano rallentò il traffico Internet invece di bloccarlo. E da anni in Cina il governo riesce a bloccare tutti i siti che vuole. Nelle democrazie occidentali, il consolidamento dei fornitori di accesso Internet ha messo in mano a poche aziende (sempre meno) il controllo di quote sempre più ampie di traffico dati, dando a società come Comcast o AT&T sia l'incentivo, sia la possibilità di rendere più veloce il traffico verso i loro partner nel mondo dei media a spese di quelli concorrenti.

Come è successo, e come si può rimediare? Possiamo recuperare una rete dinamicamente elastica come quella idealizzata da Gilmore, strutturalmente resistente agli attacchi di governi e società multinazionali? Una piccola comunità di zelanti attivisti digitali ci sta lavorando. Ecco come potrebbe funzionare.

Sui tetti di Vienna

Siamo a Vienna, nella centrale elettrica di Wien-Semmering, in un glorioso pomeriggio d'estate. Aaron Kaplan ha passato gli ultimi sette minuti in un ascensore di servizio buio e scomodo, salendo verso la sommità della ciminiera della centrale, alta 200 metri, la costruzione più alta della città. Quando Kaplan finalmente esce sulla piattaforma in cima, la vista spazia dal Danubio che scintilla in basso alle pendici delle Alpi a ovest, fino alla verde frontiera con la Slovacchia a est. Ma a Kaplan non interessa il panorama: va dritto fino al bordo della piattaforma, e si avvicina a quattro piccoli router senza fili, protetti dalle intemperie, fissati alla ringhiera.

Quei router sono uno dei nodi di una rete comunale, non a scopo di lucro, chiamata FunkFeuer, di cui Kaplan è cofondatore e principale sviluppatore. I segnali captati e ridiretti dai router li collegano, direttamente o indirettamente, a circa 200 nodi simili sui tetti di Vienna, ognuno di proprietà dell'utente che l'ha installato e lo mantiene, ognuno che contribuisce con la sua banda di trasmissione a una rete ad alta velocità che si estende quasi fino a dove arriva lo sguardo di Kaplan, dalla cima della ciminiera.

FunkFeuer è una cosiddetta rete senza fili a maglie (*wireless mesh network*). Non ci sono spese per collegarsi: ci vuole solo un investimento di 150 dollari («Praticamente un router Linksys in una scatola», dice Kaplan), un tetto su cui mettere il router e un altro nodo della rete «in vista», cioè raggiungibile in linea retta. Il contatto radio con più nodi non è strettamente necessario, perché ogni nodo si appoggia ai nodi vicini per inviare dati a nodi che non rie-

sce a raggiungere direttamente. Nei primi mesi di esistenza della rete, poco dopo che Kaplan e il suo amico Michael Bauer la fondarono, nel 2003, il numero totale di nodi era una dozzina, e questo schema di trasmissione a catena era a volte intermittente: se anche un solo nodo non funzionava, con grande probabilità altri rimanevano disconnessi l'uno dall'altro oppure, drammaticamente, dal nodo d'origine, quello che collegava l'intera rete a Internet. Mantenere la rete funzionante giorno e notte «era una lotta», ricorda Kaplan. Insieme a Bauer andavano a riparare i nodi guasti, compresa una volta alle due di notte su un tetto, in mezzo a una tempesta di neve a –15 gradi (riuscirono a sopravvivere solo grazie ai bicchieri di vin brulé generosamente dispensati dalla moglie di Kaplan).

Mentre gli appassionati locali di fai-da-te tecnologico imparavano a conoscere FunkFeuer, la rete cresceva. Arrivata a trenta o quaranta nodi, divenne autosufficiente: la topologia era abbastanza ricca che se un nodo diventava inagibile gli altri riuscivano a trovare strade alternative. La rete aveva raggiunto la densità critica alla quale, come dice Kaplan, «la magia delle reti a maglie si scatena».

La tecnologia a maglie è relativamente nuova, ma la «magia» di cui parla Kaplan è ben nota: è lo stesso principio alla base della famosa resistenza infrastrutturale di Internet. L'instradamento a commutazione di pacchetti (*packet switching*) e in modalità «immagazzina e rinvia» (*store and forward*), cioè in cui ogni computer collegato alla rete può non solo ricevere e inviare informazioni, ma anche ritrasmetterle per conto di altri computer, è stata una caratteristica architetturale fondamentale di Internet fin dai suoi inizi. È la caratteristica responsabile della moltiplicazione di possibili vie di trasmissione che permette alla rete di «aggirare i guasti». Ed è quello che rende Internet, almeno in teoria, così difficile da distruggere.

Se oggigiorno la realtà di Internet fosse più vicina alla teoria, non ci sarebbe bisogno delle reti a maglie. Ma negli ultimi vent'anni, da quando Internet è cresciuta al di là dell'orizzonte universitario delle sue origini ed è diventata il servizio commerciale che è oggi, il principio *store and forward* è diventato sempre meno significativo. La grande maggioranza dei nuovi nodi aggiunti in questo periodo è rappresentata da computer di utenti collegati tramite fornitori commerciali, e in questo modello la macchina del cliente non è mai un punto di ritrasmissione. È un vicolo cieco, un nodo terminale, configurato per ricevere e inviare dati, ed è in comunicazione solo con macchine di proprietà del fornitore.

La crescita esplosiva di Internet, in altre parole, non ha aggiunto nuove strade alla mappa della rete, ma ha aggiunto piuttosto strade senza uscita, trasformando i fornitori, e altre entità aggregatrici di traffico digitale, in punti focali di controllo dei milioni di nodi a cui prestano servizio. Per questi nodi, se il loro fornitore ha dei guasti, oppure se interrompe il servizio volontariamente, non c'è modo di girarci attorno. Invece di rendere Internet difficile da spegnere, i fornitori diventano l'interruttore che può spegnerla.

Quello che fanno le reti a maglie, in altre parole, è esattamente ciò che i fornitori non fanno: permettono alle macchine degli utenti finali di agire come punti di ritrasmissione dei dati. In termini meno tecnici, invece di trattare gli utenti come puri consumatori, li trasformano in fornitori di servizio Internet (*si veda il box a p. 98*). Se si vuole un esempio di ciò che significa tutto questo, basta pensare a che sarebbe potuto succedere il 28 gennaio se gli egiziani avessero potuto comunicare non attraverso una mezza dozzina di fornitori commerciali ma per mezzo di reti a maglie. Come minimo, ci sarebbero volute molte più di cinque telefonate per spegnere la rete. Dato che ogni utente di una rete a maglie possiede e controlla il suo pezzetto di infrastruttura, ci sarebbero volute tante telefonate quanti erano gli utenti, e molta più persuasione di quanta ne abbiano richiesta i dirigenti del fornitore commerciale.

Internet in scatola

Sasha Meinrat, 37 anni, è un personaggio chiave della comunità delle reti libere da quando questa comunità esiste. Quando era dottorando all'Università dell'Illinois, fu uno dei fondatori di CUWiN, (Champaign-Urbana Community Wireless Network), una delle prime reti di questo tipo negli Stati Uniti. Più tardi aiutò a organizzare una squadra di volontari che dopo l'uragano Katrina misero su una rete a maglie grande 60 chilometri sull'area colpita, portando le prime telecomunicazioni nelle settimane dopo il disastro. Intanto si era trasferito a Washington, con l'intento di avviare un'impresa commerciale basata sulle reti senza fili libere, ma finì per lavorare alla New America Foundation, un istituto di ricerca non a scopo di lucro che lo assunse per dirigere le iniziative tecnologiche. È stato in questa organizzazione che, all'inizio dell'anno scorso, Meinrath ha dato inizio al progetto senza fili Commotion, una rete senza fili a maglie, basata su software non commerciale (*open source*), finanziata con una sovvenzione di 2 milioni di dollari del Dipartimento di Stato degli Stati Uniti.

Dall'Egitto alla Tunisia alla Cina, la lista di eventi che dimostrano la vulnerabilità di Internet al controllo dall'alto si fa sempre più lunga

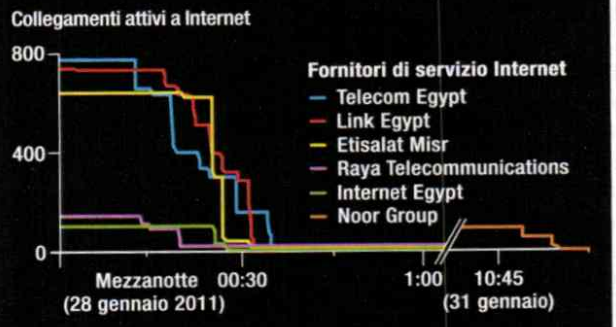
L'obiettivo a breve termine del progetto è sviluppare una tecnologia che «aggiri qualunque interruttore generale e qualunque tipo di sorveglianza centralizzata», come dice Meinrath. Per illustrare l'idea, lui e altri sviluppatori di Commotion hanno messo insieme il prototipo di una sorta di «Internet in scatola»: un pacchetto integrato, di piccole dimensioni, di hardware per la comunicazione senza fili, adatto a venire introdotto di nascosto in un territorio controllato da un governo repressivo, e usato da dissidenti e attivisti per fornire copertura Internet impossibile da bloccare. Il sistema in scatola è in realtà semplicemente un assemblaggio rozzo di tecnologie già conosciute dagli entusiasti delle reti a maglie. Qualunque patito di tecnologia sufficientemente motivato potrebbe costruirne uno e farlo funzionare.

La questione a lungo termine per Meinrath e i suoi colleghi è rendere il sistema abbastanza facile da configurare da renderlo accessibile al restante 99,9 per cento dell'umanità, i non patiti di tecnologia. Questo perché più utenti ha una rete a maglie più è difficile da distruggere.

In un certo senso, questo è numericamente evidente: le reti a maglie vanno chiuse nodo per nodo, e quindi una rete di mille nodi è più difficile da distruggere di una di cento nodi. Un fattore ancora più importante, forse, è che una rete maglie molto grande avrà più collegamenti alla rete Internet generale. Questi collegamenti, che costituiscono i punti di debolezza, quelli in cui è possibile chiudere la rete a maglie e isolarla dal resto di Internet, diventano una vulnerabilità meno grave se la rete è molto grande. Dato che qualunque nodo della rete a maglie può diventare un collegamento alla rete Internet generale (tramite un fornitore commerciale, o usando la connessione Internet di un telefonino), avere più

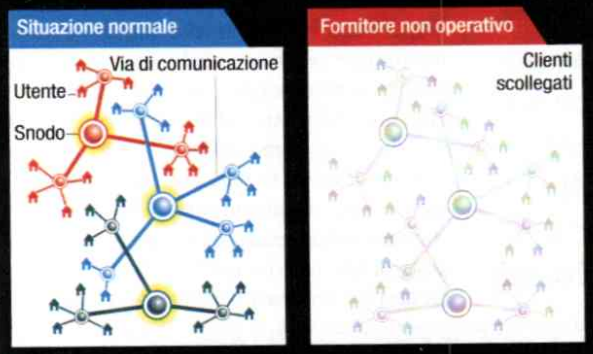
I pericoli delle reti centralizzate

Proprio quando le proteste alimentate da Facebook minacciavano il governo egiziano, lo scorso anno, Internet sparì. Ci sono prove che tutti i principali fornitori commerciali di Internet abbiano chiuso il collegamento ai loro clienti a pochi minuti l'uno dall'altro. L'unico sistema che ancora funzionava era il Noor Group, fornitore della Borsa egiziana. Venne spento quattro giorni dopo.



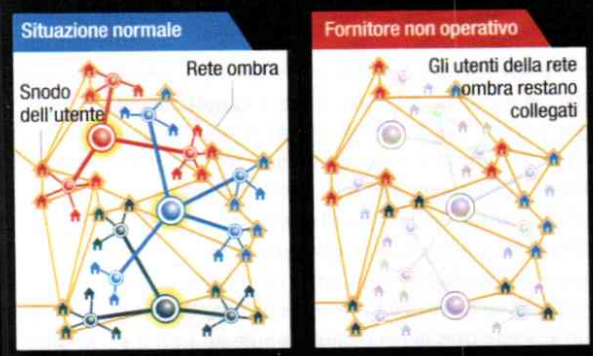
Reti tradizionali a snodo

Oggi gli utenti individuali dipendono da un'unica connessione che li collega a Internet: quella procurata dal loro fornitore (ISP), e ogni fornitore serve milioni di utenti. Se un solo fornitore non è operativo, tutti i suoi clienti si troveranno tagliati fuori da Internet.



Reti a maglie decentralizzate

In una rete a maglie, ogni utente può ricevere e mandare informazioni, e reinviare informazioni per conto di altri computer collegati. In questa configurazione, se un fornitore interrompe il servizio la comunicazione viene rallentata, ma la rete ombra la mantiene viva, aggirando gli snodi primari.



nodi nella rete a maglie significa avere una più alta probabilità di ripristinare velocemente il contatto con il resto del mondo.

In altre parole, le dimensioni sono importanti. Quindi nelle comunità delle reti a maglie resta aperta la pressante questione della scalabilità: quanto possono crescere? La possibilità anche solo teorica delle reti a maglie di incorporare un numero significativo di nodi senza avere un netto peggioramento delle prestazioni rimane controversa, e dipende da che cosa si intende per «numero significativo». Fino a pochi anni fa alcuni informatici sostenevano che le reti non avrebbero mai potuto assorbire più di qualche centinaio di nodi. Ma le reti più grandi esistenti oggi hanno un numero di nodi a quattro cifre, e decine di reti a maglie prosperano: le più grandi usano un'infrastruttura ibrida a maglie e a dorsale (classica) e arrivano a 5000 nodi (ad Atene) e perfino 15.000 (Guifi.net, a Barcellona). Il dubbio che ancora persiste è se sia *umanamente* possibile per le reti a maglie crescere molto di più, data la nostra naturale diffidenza per le tecnologie complicate e difficili da gestire.

Al contrario di quasi tutte le tecnologie non commerciali, che tendono a sottostimare l'importanza di un'interfaccia facile da usare, la comunità delle reti a maglie sta cominciando a rendersi conto quanto sia importante che l'infrastruttura sia semplice. Commotion non è quindi l'unico progetto che cerca di rendere le reti a maglie più facili da usare, ma la semplificazione chiave che propone è radicale e unica: invece di far diventare più semplici l'installazione e la manutenzione dell'infrastruttura dei nodi che si trovano nelle case o negli uffici degli utenti, Commotion cerca di renderle superflue. «Il concetto è che si possono usare telefoni cellulari, computer portatili, router senza fili già presenti e così via – spiega Meinrath – e costruire una rete con gli avanzi che sono già dentro le tasche e gli zaini della gente». Lui la chiama una rete «con infrastruttura a dispositivi», e nella versione che immagina aggiungere un nodo alla rete richiederà solo l'accensione di un interruttore. «In sostanza basterà cliccare su un bottone che dice "collegati alla rete" su un iPhone o un telefono Android», dice. «Deve essere facile».

Non solo tecnologia

Immaginiamo un mondo, quindi, in cui le reti a maglie abbiano finalmente raggiunto quel livello: siano ormai veramente utilizzabili da tutti, e siano diventate, più o meno, semplicemente un'altra applicazione che gira in sottofondo. A questo punto ci possiamo chiedere se c'è qualcosa che ne può fermare la crescita, o se il costo contenuto del servizio Internet fai-da-te finirà per espellere i fornitori commerciali dal mercato, lasciando il posto a un'unica rete che copre tutto il mondo.

Perfino i più zelanti sostenitori della decentralizzazione della rete non sembrano disposti a scommettere su questo scenario. «Questo tipo di sistemi, penso, saranno sempre un po' l'Internet dei poveri», dice Jonathan Zittrain, professore di legge a Harvard e autore di *The future of the Internet: And How to Stop It*. Zittrain sarebbe molto felice di assistere al successo delle reti a maglie, ma si rende conto che potrebbe non arrivare mai all'efficienza dei sistemi più centralizzati. «Ci sono reali benefici nella centralizzazione – dice – inclusa la facilità d'uso».

Anche Ramon Roca, fondatore di Guifi.net, dubita fortemente che le reti a maglie possano soppiantare i fornitori commerciali, e a dire il vero dubita pure che arriveranno mai a occupare più del 15 per cento del mercato. Anche con percentuali così basse, però, le reti a maglie possono avere la funzione di «tenere pulito il mercato», sostiene Roca, portando il servizio a utenti a basso reddito

Brown Bird Design; fonte: James Cowie Renesys blog (*dati Internet in Egitto*)

che altrimenti non potrebbero permetterselo, e spronando i fornitori commerciali a tenere i prezzi più bassi per tutti gli altri.

Per quanto desiderabili siano questi effetti economici, l'effetto civile più importante (la resistenza intrinseca delle reti a maglie alla censura e alla sorveglianza) ha bisogno di ben più del 15 per cento del mercato per mostrare i suoi effetti positivi. E se tutti pensano che le forze economiche da sole non riusciranno a far crescere la quota di mercato, chi potrà farcela?

Tipicamente, quando il mercato non riesce a fornire un certo servizio sociale, il primo posto dove si guarda per una soluzione è lo Stato; in questo caso particolare, non è una cattiva idea. La rete a maglie che gira attorno alla censura trattandola come un guasto può aggirare allo stesso modo i guasti veri, il che rende le reti a maglie il canale di comunicazione ideale in caso di uragani, terremoti e altri disastri naturali da cui lo Stato ci deve proteggere. Zittrain sostiene, quindi, che per gli Stati sarebbe un'ottima politica quella di sostenere la diffusione delle reti a maglie, non solo tra i dissidenti di paesi lontani, ma tra i propri cittadini. Per farlo, l'unica cosa necessaria potrebbe essere il requisito che tutti i telefonini venduti in un paese abbiano la possibilità di diventare, in caso emergenza, nodi attivi di una rete a maglie. «Dal punto di vista delle politiche pubbliche non ci vuole niente ad adottare una regolamentazione del genere», dice Zittrain. «La sicurezza nazionale e le forze di polizia in generale dovrebbero incoraggiarla e sostenerla».

Nessun intervento tecnico sarà mai sufficiente da solo a proteggere le libertà incarnate da Internet

L'inghippo, ovviamente, è che è molto facile prevedere che le forze di polizia considerino invece le reti a maglie come un posto sicuro dove criminali e terroristi possono comunicare senza essere intercettati, al riparo dai telefoni e dai fornitori commerciali che oggigiorno facilitano la sorveglianza. Sono le difficoltà del chiedere allo Stato di sostenere le reti a maglie quando è il governo, spesso e volentieri, che crea i problemi che le reti a maglie vogliono risolvere.

Non è affatto ovvio, quindi, che ci si possa affidare allo Stato per avere il sostegno che il mercato non sembra fornire, ma Eben Moglen ha qualche idea su cosa possa essere d'aiuto. Moglen è un professore di legge alla Columbia University, e per molti anni è stato l'avvocato della Free Software Foundation, un'associazione di attivisti digitali. Lo scorso febbraio, ispirato in parte dalle notizie provenienti dalla Tunisia, ha lanciato un progetto chiamato FreedomBox, annunciando che stava cercando capitali per finanziarlo attraverso il sito Kickstarter, una fondazione per la ricerca di capitali on line a sostegno di iniziative basate sulla creatività individuale. Ha raccolto 60.000 dollari in cinque giorni.

Come progetto, FreedomBox ha molte somiglianze con Commotion, e poche sono frutto di coincidenze (Meinrath è membro del comitato tecnico della fondazione FreedomBox). Come Commotion, il progetto è partito con un prototipo, la FreedomBox appunto, un dispositivo di rete grande come un mattone, «che costa 149 dollari al dettaglio, ma alla fine verrà sostituito da un coacervo di hardware che costerà sì e no la metà», dice Moglen.

Come Commotion, FreedomBox non è legato a nessun dispositivo specifico. Piuttosto, è un programma software che può girare in tutte le CPU, collegate l'una all'altra, che stanno invadendo le nostre case e le nostre vite come «palle di polvere sotto il divano», secondo la definizione di Moglen; tutte possono diventare l'infrastruttura di una rete che «riequilibri la riservatezza», e ci riporti alla visione di «una rete decentralizzata di pari». Ci sono indirizzi IP nei decoder dei televisori e nei frigoriferi; ognuno di questi, dice Moglen, potrebbe diventare una FreedomBox. Inoltre il punto non è solo decentralizzare l'infrastruttura, ma anche decentralizzare i dati. Secondo Moglen, per esempio, la concentrazione di dati degli utenti in servizi come Facebook e Google è una minaccia altrettanto grande alla riservatezza e alla libertà di espressione della concentrazione del traffico dati nei circuiti dei fornitori commerciali. Per contrastare questa tendenza, FreedomBox sarà ottimizzata per ospitare reti sociali alternative come Diaspora, che raccoglie i dati di ogni utente sul suo computer, distribuendoli solo alle persone scelte personalmente dall'utente per mezzo di collegamenti punto-punto.

Ma l'elemento chiave del progetto è «la volontà politica che stanno dimostrando i giovani, che sono dipendenti dalle reti sociali, e quindi proprio per questo sono coscienti della nostra vulnerabilità su Internet», dice Moglen. Ed è su questa passione che conta per motivare, in parte, i molti programmatori che lavorano al progetto. Sarà anche, probabilmente, la motivazione principale per i consumatori per avvicinarsi a questa tecnologia. A meno di una campagna pressante di tecno-attivisti, suggerisce Moglen, non è chiaro che cosa possa far capire all'utente medio i costi, in termini di limitazione della libertà e di perdita di riservatezza, che paghiamo in cambio della facilità d'impiego, e altri benefici più immediatamente tangibili. «La gente sottovaluta il danno alla riservatezza allo stesso modo in cui sottovaluta le conseguenze moltiplicate di altri atti ecologicamente distruttivi», come la spazzatura e l'inquinamento, dice Moglen. «È difficile per gli esseri umani fare i conti a lungo termine. Non è un tratto selezionato dall'evoluzione».

Questo suggerisce che la soluzione reale al problema di reinventare Internet non potrà mai essere solo un'aggiustatina alla tecnologia. Potrebbe esserci bisogno di un nuovo movimento politico, a base ampia e a lungo termine, come nel caso del movimento ambientalista. Se né lo Stato né il mercato possono aprire la via, forse solo una presa di coscienza collettiva potrà riuscirci, come nel caso dei cambiamenti portati in essere dalla forza di volontà del movimento verde. Prima nessuno riciclava, e ora lo facciamo in molti. Ora nessuno usa l'infrastruttura a maglie, ma forse un giorno lo faremo. E anche allora nessun intervento tecnico basterà a proteggere le libertà che Internet incarna ed evoca, perché, alla fin fine, anche l'Internet ideale, impossibile da distruggere, non può, da sola, resistere alle forze sociali ed economiche che spingono per la centralizzazione.

Le reti a maglie sono solo uno degli strumenti che ci aiutano a resistere. «Queste reti sono molto positive per le comunità, e più sono grandi meglio è», dice Kaplan. Ma anche un'unica rete a maglie che copre tutto il mondo sarà a rischio di evolvere e diventare l'Internet di compromesso che conosciamo oggi. «La tecnologia a maglie non è un'alternativa a Internet. È parte di Internet stessa», dice. «Non c'è posto per le utopie». ■

PER APPROFONDIRE

A Survey on Wireless Mesh Networks. I.F. Akyildiz e Xudong Wang, in «IEEE Communications Magazine», Vol. 43, n. 9, pp. S23-S30, settembre 2005.

Il sito di Freedombox: **http://freedomboxfoundation.org**.

Il sito di Funkfeuer: **www.funkfeuer.at/index.php?L=1**.

Il sito del Mesh Networks Research Group: **www.mesh-networks.org**.

IN COPERTINA:
Gli esseri umani hanno una facoltà preziosa: l'empatia, che ci permette di capire e condividere le emozioni altrui. Ma come impariamo a padroneggiare questa capacità e in che modo la usiamo per "guardare dentro" gli altri?

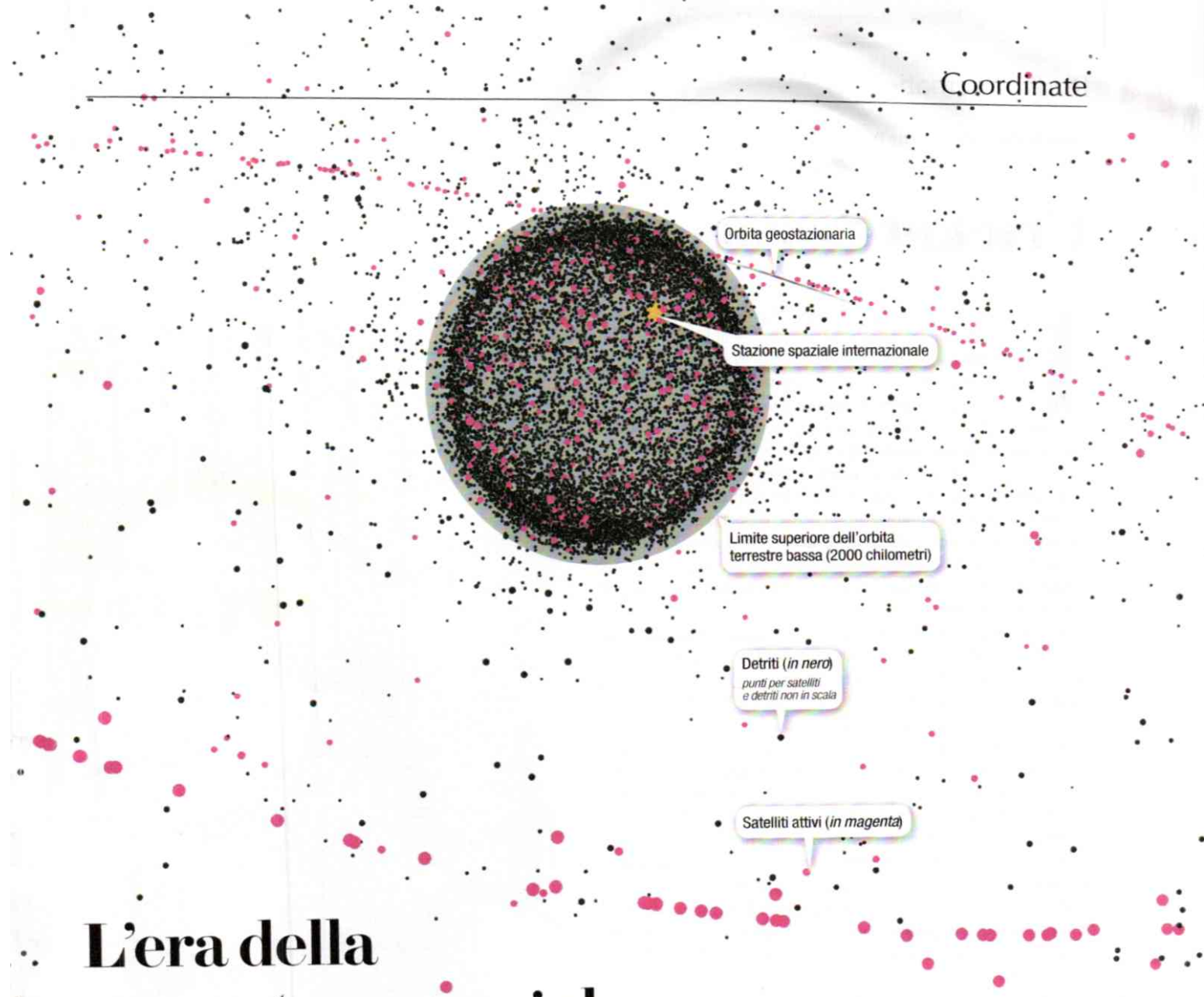
IN UN BATTER DI CIGLIA.
Minuscoli movimenti degli occhi, chiamati microsaccadi, ci impediscono di vivere nell'oscurità, e forse sono addirittura in grado di rivelare i nostri desideri nascosti.

MAMME BAMBINE.
Una sfida, una scelta, un gesto paradossale: la maternità delle adolescenti è questo e molto altro ancora.

A CIASCUNO LA SUA CURA.
I pazienti psichiatrici reagiscono ai farmaci in modo molto diverso. Per mettere a punto terapie individuali mirate, i ricercatori danno la caccia ai cosiddetti biomarcatori.

Mente & cervello

È IN EDICOLA IL NUOVO NUMERO



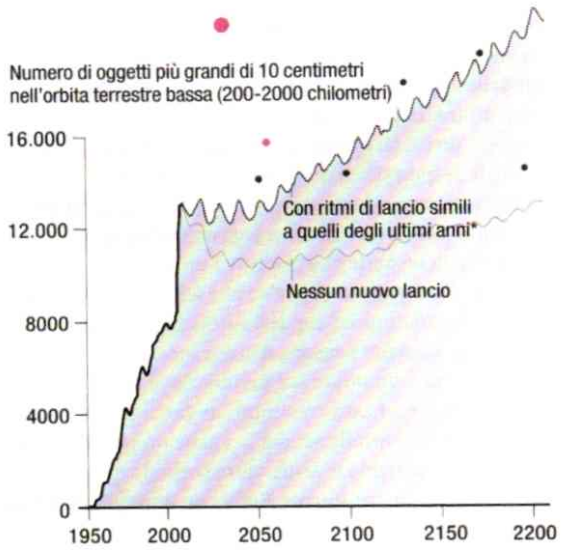
L'era della spazzatura spaziale

Difficilmente i detriti in orbita diminuiranno

Lo spazio potrebbe anche essere incomprensibilmente vasto, ma quello attorno alla Terra è pieno di spazzatura. Razzi ormai inutilizzabili, navi spaziali abbandonate, frammenti di satelliti e hardware in libertà formano una nube di detriti che è un pericolo per satelliti e astronauti in orbita. Sono già stati catalogati oltre 16.000 oggetti più grandi di 10 centimetri, la maggior parte dei quali si trova in orbita terrestre bassa, a una quota compresa tra 200 e 2000 chilometri (*grafico*).

Questa spazzatura si autosostiene. Se interrompessimo i viaggi nello spazio, il materiale di cui ci siamo già liberati continuerebbe a scontrarsi e frammentarsi in piccoli pezzi per secoli. Se invece dovessimo mantenere il ritmo attuale di lanci, il problema si aggraverebbe. Negli ultimi cinque anni, il numero di oggetti spaziali è aumentato enormemente a causa del test cinese del 2007 che ha riguardato un'arma antisatellite e dello scontro tra satelliti russi e statunitensi del 2009. Diversi governi ipotizzano misure di pulizia, ma devono ancora trovare una soluzione praticabile.

John Matson



**Nell'ipotesi in cui si rispettino per il 90 per cento le politiche adottate per mitigare il problema dei detriti spaziali*

Fonti: Ting Wang, Stanford University (*dati detriti 2012*); J.-C. Liou, NASA Orbital Debris Program Office (*proiezioni per il futuro*)

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Cricket e crocchette

Il *cricket*, come insegna Douglas Adams nella sua trilogia per autostoppisti galattici, è un gioco molto inglese e molto complicato. Forse per questo piaceva molto al più inglese dei matematici, quel Godfrey Harold Hardy che, tra un teorema e l'altro, si trovava a suo agio tanto nelle aule del suo prestigioso college quanto sulle gradinate degli stadi. Del resto il cricket ha una geometria complicata (perfino nel *wicket* la «porta» si può leggere come una sorta di geometria euclidea da demolire per fare i punti in onore di Riemann e Lobachevskij) e il suo massimo giudice ha un nome in un certo senso matematico: l'assoluto Signore delle Decisioni del Gioco è infatti l'*Umpire*, termine che deriva probabilmente da «*un-pair*», che vuol significare «al di fuori delle parti, imparziale», ma che inevitabilmente ricorda il concetto di «dispari».

Sul tavolo di casa, se a far la parte dei compassati giocatori inglesi trasudanti *fair-play* ci sono Rudy e Piotr, il ruolo sovrano dell'Umpire spetta indubbiamente a Gaetanagnesi; al posto del bianco cappello a larghe tese indossa lunghi baffi neri, ma l'autorità che emana è indubbiamente la stessa.

«Ma bene!». Per quanto lirica e bucolica, la scena non sembra risultare gradita ad Alice: «Non posso allontanarmi un istante che subito cominciate a corrompere il mammifero più eticamente elevato di casa! Rudy, posso capire quell'assoluta negazione della dietologia che è Doc, ma tu, sempre così attento alla linea? Che ci fanno quelle crocchette palesemente fuori orario a portata di gatta? Giusto ieri frignavi che ti sembrava troppo grassa...».

«Imperlappunto, dottoressa Riddle», replica Rudy, senza degnare di troppa attenzione l'aria scandalizzata di Alice. «Quelle crocchette sono anche un test: molto sane e molto dietetiche. E anche molto care, a dire il vero».

Piotr interviene con l'aria da bravo bambino: «Davvero, Treccia, non preoccuparti. E poi ne mangia poche, anche perché non può vincercele. Sta solo facendo da arbitro...».

«Vedo che state rapidamente migliorando in strategia: certi che con delle crocchette in ballo vi farebbe cappotto, l'avete messa a fare l'arbitro. Degni eredi di Sun Tzu...».

«Uh... Alice, stai riuscendo a distrarmi. Doc, da bravo etimologo, hai qualche ipotesi sull'origine del termine "cappotto"?».

«Eh? Sto cercando di capire un gioco, la gatta di casa mi ha già ammonito due volte e tu mi chiedi un'etimologia? Vabbè... Avevo letto da qualche parte che c'entrava un gioco francese, il "*piquet*", il termine pure gallico "*capot*", e che alla fin fine c'è una parentela stretta con il teutonico "*kaputt*". Adesso, se non vuoi essere tu a finire kaputt, lasciami pensare, d'accordo?».

Piotr torna a guardare sul tavolo, dove un numero sostanzioso di crocchette a basso contenuto di grassi forma un cerchio perfetto. La micia controlla severa (e anche un po' affamata) ogni respiro di Piotr, tenendo le scure vibrisse rigide e parallele. Alice, pur sprovvista di vibrisse, guarda Rudy con aria non meno severa (ma più interrogativa).

«Va bene, va bene, ti spiego. Tanto Doc non ce la farà mai, a vincere la partita. Vuoi sapere come funziona questo gioco, vero?».

Il perfetto arco di cerchio disegnato dal sopracciglio di miss Riddle riduce un po' il suo raggio di curvatura, donando alla proprietaria un'aria vagamente scettica: «Non che muoia dalla voglia, a dire la verità. Ma siccome so che in questa casa non si combinerà niente finché la partita non finisce, prova a spiegarmelo, su».

«Oh, è molto semplice: come vedi, abbiamo disegnato un bel cerchio di crocchette dietetiche, e questa è la situazione iniziale della partita: in questa mano, Doc ha la prima mossa. Ora può prendere una o due crocchette dove vuole, con l'unico vincolo che se ne prende due queste devono essere contigue. Poi muoverò io, con le stesse regole; e avanti così. Perde chi si ritrova a non poter più fare prese. Semplice, no?».

Illustrazione di Stefano Fabbri

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di giugno e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

La gatta Gaetanagnesi è arbitro di una gara a base di crocchette tra Rudy e Piotr. Alice desidera una vita normale

IL PROBLEMA DI APRILE

Il mese scorso ipotizzavamo che un investitore avesse ben quattro agenti di borsa per consigliarlo sulle operazioni di compravendita delle azioni, ma che dei quattro solo due fossero affidabili. Non sapendo quali fossero i due consiglieri sicuri e dovendo fare una serie di tre investimenti, occorreva trovare la migliore strategia da seguire.

Alla prima delle tre operazioni, se quattro o tre agenti danno il medesimo consiglio bisogna ovviamente investire l'intero capitale, visto che almeno uno degli affidabili deve far parte gruppo; se invece i consigli sono equamente divisi a due a due bisogna «investire zero» su una qualunque ipotesi, ovvero conservare intatto il capitale. Osservando il risultato di questa operazione «a costo zero» si potrà capire quali siano gli agenti affidabili e quali no, e da quel momento basterà seguire i consigli dei consiglieri giusti e investire ogni volta l'intero capitale a disposizione. Si riesce quindi a raddoppiare il capitale per almeno due volte, chiudendo con 4000 euro.

Per la variante in cui il numero di consiglieri è tre, di cui uno solo affidabile, si deve seguire inizialmente il consiglio della maggioranza. Nel caso si perda, ci si consolerà col fatto che è stato individuato il consigliere affidabile. Se invece si vince si è comunque individuato uno dei mentitori. In questo caso, usando la stessa logica anche alla seconda operazione, si avrà la certezza di successo all'ultimo investimento. Si trova che per seguire questa strategia il risultato migliore si ha puntando ogni volta 333 euro e 1/3, e alla fine il guadagno sarà pari a 8/3 del capitale iniziale, ovvero a più di 2666 euro.

«Fin troppo. Ma che c'entra Gaetanagnesi?».

«Diamine! Tanto per cominciare si becca tutte le crocchette rimosse dal gioco, e quindi controlla con famelica attenzione che nessuno di noi due bari facendone sparire qualcuna. Inoltre, visto che chi perde non potrà più darle crocchette, lo raggelerà con il suo spietato sguardo di riprovazione...».

Alice scruta gli occhi gialli della gatta, che restano comunque felinamente imperscrutabili. Poi si rivolge a Doc: «Come sta andando, finora?».

«E come vuoi che vada? Non ho vinto una partita. Come ha detto Rudy, se fossi sensibile al potere crematorio dello sguardo felino sarei da tempo un mucchietto di cenere».

«La citazione è di Leslie Charteris, non mia. E ti ho già detto, Doc, che se tu facessi più attenzione potresti vincere la metà delle partite. Ho sempre avuto il sospetto che questo gioco abbia una sorta di parentela con un certo teorema...».

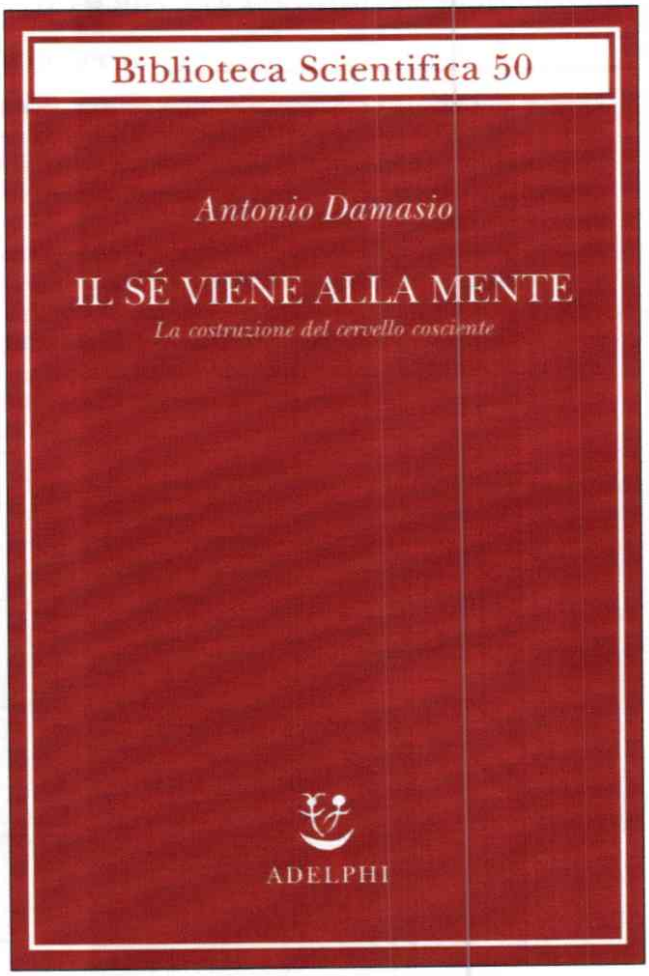
«Insomma, vuoi farmi capire che c'è una strategia vincente per un giocatore?».

«Tu che dici, Alice?».

«Dico che sono entrata da cinque minuti, che ho visto una gatta fare da arbitro, ho sentito termini di cricket, mi sono sciroppata un paio di dotte etimologie e ho udito citare i nomi di Douglas Adams, Godfrey Hardy, Sun Tzu e Leslie Charteris. Che vuoi che dica? Dico che sento un viscerale bisogno di una vita normale...».

Ipotesi sull'emergere della coscienza

Il sé viene alla mente
di Antonio Damasio
Adelphi, Milano, 2012, pp. 472 (euro 32,00)



Da piccolo, come molti suoi coetanei, amava farsi trascinare nelle avventure di Tintin, e rimaneva soggiogato dai colpi di genio e dalle astuzie dell'eroe dei fumetti disegnato da Hergé. Da grande, Antonio Damasio ha deciso di indagare il luogo più denso di sorprese scientifiche, il cervello umano, e di farsi trascinare nell'avventura intellettuale più intrepida: decifrare l'origine e la natura della coscienza.

Dopo aver sedotto moltitudini di lettori con *L'errore di Cartesio* – un grande *bestseller* scientifico – sgretolando la visione dualistica della natura umana che separa corpo e mente, Damasio continua a sfornare densi saggi in cui racconta, con scrittura assai felice, le sue ipotesi su quello che molti neurofisiologi e filosofi continuano a trattare come un mistero impenetrabile. Il neuroscienziato cresciuto e formatosi a Lisbona, ma da anni alla University of Southern California non si arrende, e anzi in questo nuovo testo propone di ricominciare da capo, facendo il punto su quello che gli ultimi decenni di studi interdisciplinari ci hanno fatto capire sul funzionamento della mente cosciente. Così Damasio ci accompagna a intravedere l'alba dei processi coscienti lungo la storia evolutiva che dagli organismi unicellulari è giunta fino a noi. La visione è spiazzante: per Damasio già nella singola cellula si riconosce un atteggiamento, seppure non cosciente, che manifesta la volontà di vivere la vita inscritta nei geni, e i processi vitali diventano la base da cui partire per capire come emerga e di che stoffa sia fatta la coscienza.

Già *L'errore di Cartesio* ci aveva insegnato a conoscere e ridare dignità al ruolo giocato dal corpo nelle funzioni cerebrali superiori, per esempio nella generazione delle emozioni. Ma il rapporto tra corpo e cervello è così intimo grazie alla capacità dei nostri miliardi di neuroni di mappare e rappresentare lo stato del corpo, generando immagini mentali del mondo esterno. Damasio si lascia prendere la mano, immaginando come i neuroni – mimando la volontà inconscia delle cellule – abbiano prodotto una volontà cosciente. Ma al di là delle congetture questa rimane una delle parti più affascinanti del lungo racconto di come il sé viene alla mente. Il neuroscienziato riesce a restituire in modo vivido la costruzione delle mappe uditive facendoci percorrere le scale del Guggenheim Museum di New York come fosse una coclea di un orecchio umano, con le cellule specializzate per le differenti frequenze disposte in modo da generare una mappa fine dei toni possibili. Oppure ci fa seguire con lo sguardo uno stormo di pellicani nella luce del primo mattino per spiegare che cosa accade nel nostro cervello e come questa visione riesce a conquistare il palco della coscienza a scapito di altri stimoli che il cervello sta nel frattempo elaborando.

L'architettura esplicativa che Antonio Damasio ha messo a punto negli anni per dare conto della coscienza è ricca e complessa, e prevede una gerarchia nella genesi della mente cosciente: il proto-sé, costituito dai sentimenti primordiali e intimamente legato al corpo, il sé nucleare che si sviluppa dall'interazione tra l'organismo e un oggetto, e il sé autobiografico, che raccoglie e mette a sistema i mille frammenti dell'esperienza cosciente. La coscienza, come per la maggior parte delle funzioni cerebrali, non ha casa in una singola area cerebrale, ma è distribuita in alcune regioni che secondo Damasio sono le migliori candidate a ospitarla, tronco encefalico talamo e corteccia cerebrale.

Le ricerche di Damasio sono molto citate e apprezzate dal variegato stuolo di studiosi della coscienza che all'uscita del libro nell'edizione originale hanno rilevato le criticità della sua impostazione, che non riuscirebbe a rendere conto di recenti risultati ottenuti su pazienti con stati minimi di coscienza. Ma anche quest'opera di Damasio contribuisce a dare contorni sempre più definiti alla nostra ignoranza, come un ritratto che molto faticosamente mettiamo a fuoco, ottenendo un'immagine vaga ma che stimola l'immaginazione. Un po' come nel caso della statuetta che la futura moglie Hanna regalò a Damasio ai tempi dell'Università a Lisbona: una statuetta di terracotta dai tratti indefiniti, che però all'aspirante neuroscienziato fece pensare subito al suo amato Tintin.

Marco Motta

L'industria chimica italiana, da Giulio Natta agli anni novanta

Reazione chimica
di Stefano Righi
Guerini Associati, Milano, 2012
pp. 170 (euro 16,50)

Gli italiani dicono spesso che hanno le capacità e la creatività per primeggiare, ma l'Italia non è davvero capace di sfruttare appieno questa «italianità». Stefano Righi sottolinea come questo sia stato vero anche nelle vicende di Montedison dal periodo successivo alla seconda guerra mondiale all'implosione dell'azienda con Raul Gardini. A proposito della scoperta del propilene, uno dei cardini scientifici di Montedison che nel 1963 valse a Giulio Natta il premio Nobel per la chimica, scrive infatti: «Una scoperta rivoluzionaria, talvolta sottovalutata, da cui il Paese ha saputo trarre ricchezza pubblica e privata ma non l'insegnamento necessario a far sì che la strada della ricerca scientifica e industriale divenisse centrale nelle scelte di politica economica».

La Montecatini, divenuta Montedison nel 1966, è diventata la maggiore industria chimica italiana a suon di ricerca e sviluppo di processi industriali, con personaggi di spicco della ricerca italiana che si dividevano tra l'università e i laboratori dell'azienda, in un clima molto diverso da quello odierno. Oltre al polipropilene, Montedison aveva acquisito e sviluppato importanti brevetti in diversi settori produttivi della chimica, dai fertilizzanti agricoli all'acido solforico, ai preparati per aziende farmaceutiche.

Ad annodare i fili della storia è la voce di Renato Ugo, uno dei padri del moderno approccio alla catalisi e della chimica organometallica di superficie, che dell'azienda di Foro Bonaparte fu consulente scientifico di spicco fin dagli anni sessanta. Ma *Reazione chimica* non si deve leggere come la storia di un'occasione mancata, quanto piuttosto come un pezzo di storia dell'Italia ancora poco raccontato e dal quale c'è tanto da prendere come riferimento.

Marco Boscolo

Lo stato dell'istruzione superiore nei paesi industrializzati

Sistemi universitari comparati
di Moris Triventi
Bruno Mondadori, Milano, 2012
pp. 180 (euro 15,00)

Quanto può essere inclusivo un sistema di istruzione superiore? Dipende dal modo in cui le istituzioni universitarie sono organizzate e a come interagiscono con quelle del *welfare*. Ma anche da differenze di tipo culturale e politico. Questo volume analizza i sistemi universitari di 15 paesi industrializzati, per capire quanto i diversi modelli facilitino o meno l'inclusione di studenti provenienti da classi disagiate. Si tratta di una ricerca comparata, che mette in evidenza le differenze ma cerca anche di tracciare linee comuni.

I parametri studiati comprendono gli investimenti, il costo delle tasse di iscrizione, la possibilità di accedere a prestiti o borse di studio, i vantaggi occupazionali ottenuti, il grado di privatizzazione o di autonomia delle istituzioni educative. Ne emerge un quadro complesso ma utile a capire quali politiche sia possibile mettere in campo per rendere le nostre istituzioni più aperte ed egualitarie.

In Italia, e in gran parte dell'Europa continentale, il dottore è spesso figlio di dottore, e l'università può diventare luogo che riproduce le diseguaglianze sociali. Altri paesi dimostrano che rette più elevate o più privatizzazione non impediscono di per sé una maggiore uguaglianza nell'accesso all'istruzione. Se gli studenti italiani si basano sul sostegno economico fornito dalle famiglie, altri sistemi di welfare che forniscono sostegno sotto forma di borse di studio o accesso ad alloggi sono cruciali per garantire maggiori possibilità a chi proviene da classi svantaggiate. Non è lo stesso per il cosiddetto prestito d'onore, che funziona in paesi in cui la laurea fornisce un forte vantaggio competitivo sul mercato del lavoro.

Alessandro Delfanti

Dialoghi sull'uomo e sul dono a Pistoia

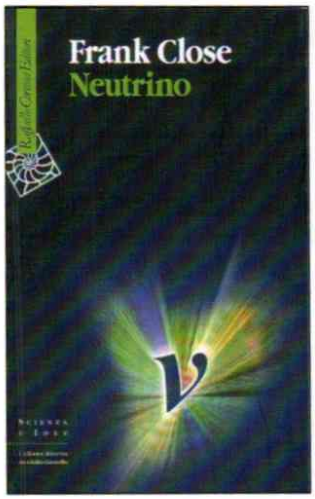
Terza edizione del Festival di antropologia del contemporaneo che si tiene a Pistoia. Dal 25 al 27 maggio, il centro storico della città ospita una ventina di incontri, spettacoli, dialoghi conversazioni e letture a cui partecipano antropologi, sociologi, filosofi, economisti, storici, religiosi, che si confronteranno con il pubblico.

Le diverse angolature da cui gli ospiti si confronteranno permetteranno di tracciare un percorso interdisciplinare, con un linguaggio accessibile, che aiuti a

comprendere l'oggi e l'essere umano. Filo conduttore di questa edizione di *Dialoghi sull'uomo* è il tema del dono, in particolare lo scambio e la condivisione per una società più equa, che sarà il tema principale dei «dialoghi», nei quali sarà coinvolto anche il pubblico.

«Abbiamo scelto il tema del "dono" per la sua attualità e trasversalità culturale», spiega Giulia Cogoli, ideatrice e direttrice dell'evento pistoiese. «In un momento di gravissima crisi come quella che sta attraversando il nostro paese e più in generale il cosiddetto "sistema occidentale", sembra utile porsi da un'angolatura antropologica per analizzare il perché del primato dei rapporti economici nella nostra società». Una sfida culturale e intellettuale non da poco. Per informazioni dettagliate e aggiornate basta visitare il sito web: www.dialoghisulluomo.com. *(cb)*

Cortesia Dialoghi sull'uomo (edizione 2011 festival di Pistoia)



Neutrino
di Frank Close
Raffaello Cortina, Milano, 2012
pp. 174 (euro 19,00)

Storia di una particella sfuggente protagonista della fisica

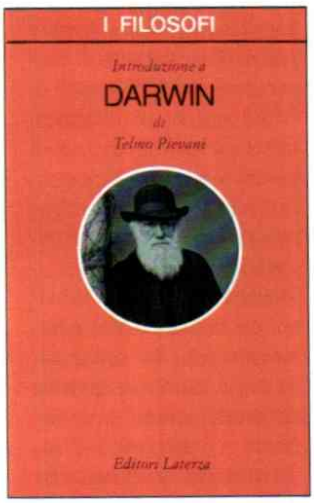
Primo fra le particelle elementari, il neutrino è riuscito a guadagnarsi i titoli di apertura dei giornali e dei siti web delle maggiori testate. La recente vicenda del presunto superamento, poi smentito, della velocità della luce nel tragitto tra CERN di Ginevra e Gran Sasso ha colpito l'immaginario collettivo come raramente è successo in passato nel campo della fisica. Il fatto forse più paradossale è che si sia parlato di questa particella come se si sapesse benissimo di che cosa si trattasse, come se la velocità del neutrino fosse l'unico aspetto misterioso in un quadro ormai chiarito nei suoi aspetti generali.

In realtà, la comprensione della fisica del neutrino è storia recente, come racconta Frank Close, fisico dell'Università di Oxford e divulgatore di fama, ed è una storia esemplare, uno di quei casi in cui la caparbietà di alcuni fisici sperimentali ha permesso di trovare riscontro a previsioni fatte per via teorica molto tempo prima. Fu Wolfgang Pauli ad avanzare l'ipotesi, prima osteggiata dalla comunità dei fisici di allora e poi accolta con «vivace interesse» da Enrico Fermi, secondo cui nel decadimento nucleare beta è emessa una particella di massa nulla o trascurabile, battezzata «neutrino» per distinguerla dal neutrone.

Il rapido sviluppo delle teorie nucleari di quegli anni portò presto a prevedere che il neutrino potesse incontrare un neutrone e dare vita a un protone più un elettrone. I calcoli mostrarono però che un neutrino così generato avrebbe potuto attraversare la Terra senza interagire con la materia, «come una pallottola sparata attraverso un banco di nebbia». Come rilevare dunque un'esistenza così elusiva? La risposta si deve alla geniale intuizione di Bruno Pontecorvo, il quale pensò che interagendo con la materia il neutrino avrebbe potuto generare un nucleo radioattivo, il cui decadimento è passibile di controllo sperimentale. La scelta cadde quindi sul cloro, che in caso di interazione con il neutrino produce argon radioattivo.

L'intuizione del fisico italiano non servì alla prima osservazione sperimentale, avvenuta nel 1956 per opera di Cowan e Reines, presso il reattore a fissione di Savannah River, in South Carolina, dove fu trovato in realtà l'antineutrino, ma a tutti i progetti di rilevazione dei neutrini solari, iniziati con il pionieristico lavoro di Ray Davis, nel 1960, per finire con il SuperKamiokande giapponese e il Gallex dei Laboratori nazionali del Gran Sasso. Gli stessi laboratori che con l'esperimento OPERA lo hanno portato, pochi mesi fa, sotto i riflettori della comunicazione di massa.

Folco Claudi



Introduzione a Darwin
di Telmo Pievani
Laterza, Roma, 2012
pp. 198 (euro 12,00)

Immergersi nel pensiero e nella vita di Charles Darwin

La sorpresa più grande, forse inimmaginabile in Italia solo un decennio fa, è trovare Charles Darwin in una collana dedicata ai filosofi. È una scelta ormai al di sopra di ogni sospetto, dal momento che nonostante ritardi e resistenze è indubbia l'importanza che Darwin e più in generale le scienze della vita hanno nella cultura e in particolare nell'indagine che mette al centro la nostra specie come essere pensante. Il libro di Telmo Pievani è quindi una sorta di consacrazione, tanto più che è strettamente dedicato al pensiero di Darwin stesso più che alle innumerevoli tesi filosofiche basate sulla teoria dell'evoluzione per selezione naturale che negli ultimi anni hanno rivoluzionato il modo di pensare il rapporto tra natura e cultura.

Organizzato secondo la cronologia della vita e delle opere del naturalista inglese, e basato sull'ormai vastissima letteratura disponibile, Pievani accompagna piacevolemente il lettore attraverso le peripezie del giovane rampollo della ricca borghesia britannica: il fallimento universitario, la *chance* del lungo viaggio (cinque anni) sul Beagle, e il successo scientifico al rientro in madrepatria. Tutto ciò prima di compiere trent'anni. Poi la riflessione matura, lo studio costante e tenace, portano a compimento la rivoluzione dell'evoluzione, e le domande sorte durante il giro intorno al mondo iniziano a trovare faticosamente una risposta nella trasformazione graduale delle specie per mezzo della selezione naturale delle variazioni individuali.

«L'evoluzionista riluttante» – che chiude in un cassetto il primo manoscritto compiuto sulla sua teoria e ne parla solo con pochi e fidati amici, fino a quando Wallace non lo costringe all'uscita pubblica nel 1858 e alla precipitosa pubblicazione di *L'origine delle specie* l'anno successivo – dà inizio a uno dei più straordinari stravolgimenti della cultura umana: non una rivoluzione *ex abrupto* ma, come ampiamente documentato da Pievani, Darwin mette insieme molti pezzi già disponibili e innova un approccio allo studio della natura già esistente.

Tuttavia l'impatto è esplosivo, e ancor più lo sarà nei decenni successivi quando lo stesso Darwin porterà le sue deduzioni fino alla nostra specie: non più essere creato a immagine di un Dio, ma prodotto di un lento processo casuale, fortunato e interamente naturale. Per il geologo (come sempre amerà definirsi), una notevole conclusione filosofica, che nonostante tutte le opposizioni, anche odierne, ha radicalmente mutato la nostra idea del mondo. Per chi volesse prendere confidenza con questa teoria e con la storia del suo geniale ideatore, questo libro è un'ottima via d'accesso al pensiero darwiniano.

Mauro Capocci

Foligno tra scienziati e filosofi

La città umbra ospita un festival dedicato al rapporto tra il mondo della scienza e quello della filosofia, con uno sguardo anche alle ricadute pratiche della ricerca

Scienza, Ricerca, Sviluppo: è questo il tema attorno a cui si articola la seconda edizione della Festa di Scienza e Filosofia–Virtute e Canoscenza che si terrà a Foligno da giovedì 10 a domenica 13 maggio. Organizzato dal Laboratorio di scienze sperimentali di Foligno con la consulenza scientifica di Roberto Battiston, Edoardo Boncinelli e Giulio Giorello, l'appuntamento è un'occasione, particolarmente preziosa in un momento di grandi cambiamenti, per un confronto sui temi di maggiore attualità e rilevanza fra esponenti del mondo della scienza e della filosofia.

Le 50 conferenze, di cui saranno protagonisti 44 relatori di spicco, offrono un'articolazione dell'evento su più piani: si potrà scegliere fra quelle dedicate ad argomenti di carattere più generale – come quelli sul complesso rapporto fra la realtà della scienza e la percezione che se ne ha, discusso da Marco Cattaneo e Massimiano Bucchi, sulle relazioni fra ricerca e crescita economica (con Fausto Bertinotti, Carlo Bollino e Luigi Berlinguer) o sull'impatto che scienza e tecnologia possono avere sulle questioni di genere (Anna Meldolesi) – oppure immergersi in temi più specifici.

Si potrà così optare per temi di attualità, come la telemedicina in ambienti estremi, come l'Antartide e lo spazio, per esaminarne le ricadute sull'assistenza sanitaria di tutti i giorni, oppure il nostro rapporto con le nuove, pervasive tecnologie digitali e gli strumenti matematici che possono garantire sicurezza e *privacy* quando le usiamo (Massimo Giulietti). Ma ci si potrà anche perdere nell'immensità del cosmo (Giovanni Bignami), curiosare nelle ultime scoperte delle neuroscienze (Corrado Sinigaglia), cercare di ripercorrere lo sviluppò storico antico e recente dell'informatica e della fisica (Eugenio Coccia e Andrea Frova), o riflettere, con Giacomo Marramao, sulla suggestiva domanda di che cosa sia in realtà il tempo.

Alle conferenze si affiancano poi alcuni eventi collaterali: *Astrofisica 2161: ritorno al futuro*, un viaggio tra 300 anni di scoperte, intuizioni e traguardi curato dall'Istituto nazionale di astrofisica; *Giocare con la Scienza*, un confronto sul modo in cui è possibile indurre la curiosità per la scienza nei bambini da zero a sette anni e, per concludere, *Concorso robot*, una serie di tre gare tra robot progettati e costruiti da diversi concorrenti.

Gianbruno Guerrerio

Dove & quando:

FESTA DI SCIENZA
E DI FILOSOFIA
10-13 maggio 2012
FOLIGNO (PG)
Info: 0742 342598
www.labscienze.org

Evento distribuito.
Piazza del Duomo a Foligno, il festival che si terrà a metà maggio coinvolgerà diversi palazzi, e due auditorium del centro storico della città umbra, e il Laboratorio di scienze sperimentali.

Maurizio Pellini/SIME

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso
della disinformazione nei media

Nuove regole per i rimedi omeopatici

Avranno gli stessi diritti degli altri, ma anche gli stessi obblighi di informazione

L'Agenzia italiana del farmaco ha recentemente definito le nuove regole per la registrazione dei medicinali omeopatici, recependo una direttiva europea. Questi prodotti avranno gli stessi diritti degli altri medicinali, ma anche gli stessi doveri: dovranno documentare rigorosamente metodi, qualità e omogeneità di produzione, materie prime, stabilità e diluizioni, e si potrà fare sperimentazione nelle strutture pubbliche. Il consumatore sarà quindi informato meglio sulla loro natura, colmando una lacuna diffusa.

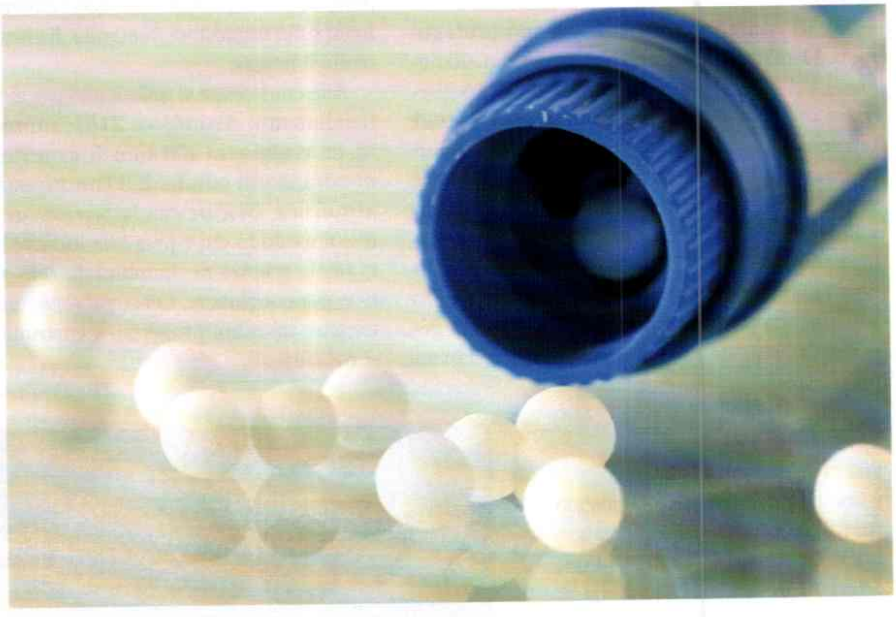
Molti, infatti, non sanno che cosa c'è realmente in un medicinale omeopatico. I produttori dichiarano di fabbricarli usando le cosiddette «dosi infinitesimali». Per esempio, se una confezione di Oscillococcinum (preparato omeopatico a base di fegato e cuore d'anatra) riporta l'indicazione «200C», vuol dire che la sostanza iniziale è stata diluita in cento parti d'acqua e che questa dose diluita è stata poi diluita a sua volta in altre cento parti d'acqua, e così via per 200 volte.

La chimica ci dice che già dopo una dozzina di diluizioni di questo genere non c'è più nessuna probabilità significativa di trovare una sola molecola della sostanza di partenza. Una diluizione 12C, comune in omeopatia, equivale a un grammo di sale diluito nell'intero Oceano Atlantico. Ecco spiegata l'assenza di effetti collaterali dei medicinali omeopatici: non contengono dosi significative di principio attivo, ma solo eccipienti.

A questa critica si risponde spesso citando la «memoria» dell'acqua usata per la preparazione e attivata effettuando la «succussione» (termine elegante per dire che l'acqua viene agitata). Ma al momento attuale questa memoria non è dimostrata e si scontra con una riflessione di fondo: se l'acqua avesse memoria delle sostanze che incontra si ricorderebbe non solo di quelle omeopatiche, ma anche di tutte le altre che ha incontrato. Si ricorderebbe, per esempio, anche di quando l'ha usata il nostro vicino di casa per il bidet.

I dubbi scientifici, insomma, sono più che fondati: le revisioni sistematiche indicano che l'omeopatia è indistinguibile dall'effetto placebo. Funziona solo se ci si crede: mentre scrivevo questo articolo ho ingerito per prova quaranta pastigliette di sonnifero omeopatico e non è successo nulla. Ne bastavano due, mi ha garantito la farmacista, per una notte di sonno sereno.

La sua efficacia sui bambini e sugli animali, che si presumono immuni all'effetto placebo, è dovuta al fatto che questo effetto agisce lo stesso, ma su genitori e proprietari, che si convincono del miglioramento anche quando non c'è e non hanno modo di escludere che l'eventuale guarigione sia dovuta ad altri fattori, come la remissione spontanea o l'effetto salutare dell'accudire e sentirsi accuditi. Non a caso, una recente sperimentazione di un gruppo di omeopati britannici ha indicato che il beneficio dell'omeopatia deriva non dal medicinale ma dal consulto approfondito, che è empatico e confortante. Sentirsi seguiti fa stare oggettivamente meglio. Questa è una lezione potente per tutta la professione medica, spesso colpevole di un approccio impersonale e meccanico al paziente.



Pillole misteriose? Molti non sanno che cosa c'è (o non c'è) nei prodotti omeopatici. Una diluizione «12C», per esempio, equivale a un grammo di sale diluito nell'intero Oceano Atlantico.

Ben vengano, dunque, le nuove regole, perché chiariranno che cosa c'è realmente nei prodotti omeopatici, cioè il nulla diluito: cosa che i produttori sono stati riluttanti a mettere in evidenza, tanto da innescare numerose *class action* statunitensi per pubblicità ingannevole contro Boiron, uno dei leader del mercato, che ha dovuto stanziare circa 12 milioni di dollari per i risarcimenti ai consumatori e per correggere le etichette dei prodotti e spiegarne chiaramente la diluizione.

Non ci sono complotti di «Big Pharma» contro l'omeopatia; c'è semplicemente la richiesta sensata di poter compiere una scelta realmente informata. E, magari, di ottenere un po' più di empatia dai medici in generale.

Pascal Broze/Onoky/Corbis

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore e aspirante cuoco interessato all'esplorazione scientifica del cibo. Autore di *Pane e Bugie* e *OGM tra leggende e realtà*

La schiuma del cappuccino

La mano del barista è fondamentale, ma la scienza può dare qualche suggerimento

La mattina a colazione prendete un cappuccino e una *brioche* (o magari un cornetto). A fine pranzo vi concedete la panna montata sopra le fragole. Infine a cena pasteggiate con della birra. Evidentemente avete un debole per gli alimenti dove i gas hanno un ruolo fondamentale nella formazione di schiume. Nel cappuccino, nella panna montata, e nella schiuma della birra minuscole bollicine di gas sono disperse in un liquido acquoso. Per formare schiume sono necessari gas, acqua, energia e surfattanti. Questi ultimi, chiamati anche tensioattivi, sono molecole che stabilizzano le bollicine, formate per esempio dall'agitazione del liquido o dall'iniezione di gas.

Per le schiume alimentari si usano i gas più diversi: quando montate manualmente della panna fresca formate bollicine d'aria. Se invece usate la panna in bomboletta il gas responsabile è il monossido di diazoto, o N_2O. Nella birra solitamente è l'anidride carbonica a formare la schiuma, ma non in tutte: la famosa birra irlandese Guinness usa anche l'azoto ad alta pressione per formare le bollicine. La «schiuma del mattino» invece, il cappuccino, è solitamente preparata a partire da vapore acqueo e aria insufflata direttamente nel latte.

Se provate ad agitare acqua pura non si formerà schiuma. Questa invece si forma e rimane relativamente stabile sia nella birra sia nel latte, grazie alle proteine in essi contenute. Queste agiscono da surfattanti, disponendosi sulle bollicine di gas intrappolate e stabilizzandole per un tempo più o meno lungo, impedendo quindi che scoppino troppo velocemente o che si uniscano ad altre bollicine.

La schiuma perfetta per un cappuccino dovrebbe avere le bollicine talmente piccole da non essere quasi visibili a occhio nudo; deve essere setosa, di buona consistenza e scorrevolezza. La preparazione di una perfetta schiuma di latte per il cappuccino è più un'arte che una scienza: la «mano» del barista, con i suoi movimenti, è fondamentale. La scienza però può fornire alcune linee guida per la preparazione di un buon cappuccino.

Prima di tutto il latte da usare: i grassi sono dannosi per la stabilità della schiuma. Questo effetto lo possiamo osservare anche aggiungendo olio a schiuma ottenuta con comune detersivo per piatti sciolto in acqua. Meno grassi ci sono nel latte, più è facile ottenere una schiuma stabile. Ciò significa che con un latte scremato, solitamente con lo 0,1 per cento di grassi, è molto facile formare una schiuma persistente. È un po' meno facile usando latte parzialmente scremato e un po' più difficile usando latte intero, con una percentuale di grassi attorno al 3,6 per cento. Al palato però la differenza tra i tipi di latte si sente, e in genere per un buon cappuccino non si usa il latte scremato, meglio il latte intero.

Se si usa latte con più grassi, è fondamentale riuscire a disperdere più gas possibile durante il tempo di riscaldamento dovuto al vapore insufflato nel latte. A questo scopo è importante partire da latte freddo da frigorifero a circa 5 gradi Celsius. Partendo da queste temperature, l'aria si scioglie meglio nel liquido. Via via che la temperatura aumenta le proteine del latte si denaturano parzialmente, cambiando la loro struttura e contribuendo alla stabilizzazione delle bollicine. Quando la temperatura ha raggiunto i 65 gradi è ora di togliere la schiuma e versarla sull'espresso appena preparato.

Partendo da latte freddo abbiamo più tempo a disposizione per formare la schiuma prima che il latte raggiunga la temperatura di 65 gradi. Qualcuno suggerisce un doppio trattamento: portare il latte a 65 gradi, raffreddarlo e poi reinsufflare vapore. Gli studi però sono discordanti nel giudicare l'efficacia di questa procedura. In più c'è il rischio di diluire eccessivamente la bevanda, visto che alla fine del trattamento con il vapore il latte contiene un dieci per cento in più di acqua.

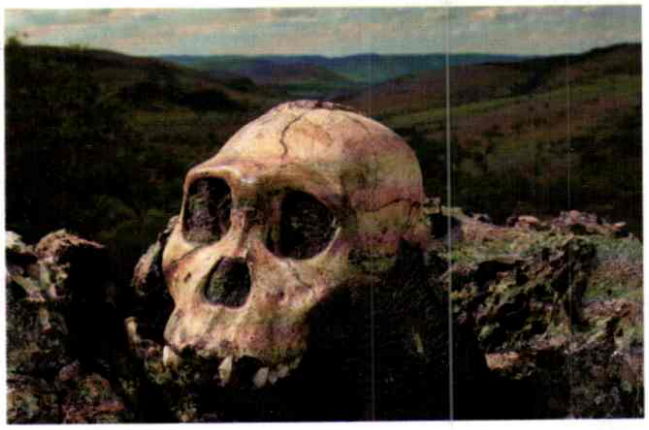
Latte con pochi grassi. Per ottenere facilmente un cappuccino schiumato sarebbe meglio usare latte scremato, perché i grassi sono dannosi per la stabilità della schiuma.

Beau Lark/Corbis

Il primo del nostro genere

di Kate Wong

In base agli scarsi dati disponibili, è stato ipotizzato che il genere *Homo* sia apparso in Africa orientale, dove *Australopithecus afarensis* avrebbe dato origine a *Homo habilis*, la specie fondatrice della nostra linea di discendenza. Ma la recente scoperta in Sudafrica di un fossile che presenta una miscela di caratteri di *Australopithecus* e di *Homo* suggerisce invece che il nostro primo antenato diretto sia appartenuto a una specie rimasta finora sconosciuta.



Gravità quantistica a Flatlandia

di Steven Carlip

Bloccati dalla difficoltà di unificare meccanica quantistica e teoria generale della relatività, i fisici si sono dedicati a una versione semplificata del problema: immaginare che il nostro universo abbia solo due dimensioni, e chiedersi come vi funzionerebbe la gravità.

Dossier: sconfiggere la poliomielite

due articoli di Helen Branswell e William Swanson

I casi globali di poliomielite sono sempre di meno, ma la completa eradicazione della malattia incontra ancora alcuni ostacoli. E l'attuale programma di prevenzione andrà migliorato fino a eliminare completamente le versioni del vaccino con poliovirus attenuati.

Brent Stirton/Getty Images (*A sedilizi*, Mary F. Calvert/ZUMA Press/Corbis (*vaccinazione in Nigeria*)

LE SCIENZE S.p.A.
Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso,
via Cristoforo Colombo 98, 00147 Roma.

Stampa
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
Copertina: Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - aprile 2012

Copyright © 2011 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson, Christine Soares, Gary Stix, Kate Wong.

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and publisher: Bruce Brandfon;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Elena Bernacchi: *Il futuro remoto delle stelle;* Andrea Cavatorti: *La vita nelle profondità sotterranee;* Silvio Ferraresi: *La nuova generazione di antidepressivi;* Lorenzo Lilli: *I dinosauri del continente perduto;* Cristina Serra: *Bloccare l'attacco dell'HIV;* Laura Servidei: *Una rete ombra per Internet;* Alfredo Tutino: *L'impronta dell'identità, A colpi di mazza da hockey.*

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel.199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto più 6,19 cent di euro alla risposta iva inclusa); Fax 02 26681991
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 70648277, Fax. 02 70648237

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 7,80
Estero	
abb. annuale	€ 52,00
abb. biennale	€ 87,00
abb. triennale	€ 110,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7195 del 14/12/2011

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI

Direzione regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici del Lazio

Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio

ANTINOO

IL FASCINO DELLA BELLEZZA

TIVOLI, VILLA ADRIANA — dal 5 aprile al 4 novembre

INFO: www.pierreci.it / **06 39967900**

pierreci codess

ORGANIZZAZIONE E COMUNICAZIONE

Electa

www.electaweb.it seguici anche su

design: ptts – ph. Luigi Spina

Land Rover consiglia Castrol Scopri le soluzioni d'acquisto personalizzate di **LAND ROVER** | **FINANCE** (Freedom, Leasing e Rent).
Consumi da 8,5 a 8,8 litri/100 Km (ciclo combinato). Emissioni CO_2 da 224 a 230 g/Km.